



# **ADIÇÃO DE FIBRA DE VIBRO E POLIPROPILENO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

**PEDRO PAULO MINARI JUNIOR**

novembro de 2018

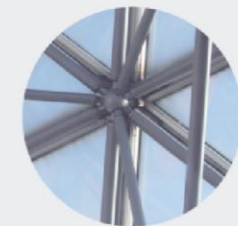
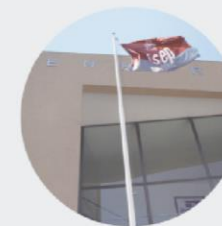
INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL



INSTITUTO SUPERIOR DE  
ENGENHARIA DO PORTO

isep



## ADIÇÃO DE FIBRA DE VIDRO E POLIPROPILENO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

**isep** Instituto Superior de  
Engenharia do Porto



# **ADIÇÃO DE FIBRA DE VIDRO E POLIPROPILENO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO**

Pedro Paulo Minari Júnior – 1170200

Orientador: Professora Maria da Luz Garcia

Relatório Final da Unidade Curricular de Trabalho  
Preparatório e Conceção (TPC-DIPRE) do Mestrado  
em Engenharia Civil, Ramo de Construções, na sua  
edição de 2017/2018.

Janeiro de 2018



# ÍNDICE GERAL

ÍNDICE GERAL .....	iii
RESUMO .....	v
ABSTRACT .....	vii
Índice de texto.....	ix
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xvi
CAPÍTULO 1    Introdução.....	1
CAPÍTULO 2    Estado da arte .....	6
CAPÍTULO 3    Campanha experimental.....	29
CAPÍTULO 4    Resultados.....	477
CAPÍTULO 5    Considerações finais .....	611
Referências Bibliográficas .....	635
Anexo I - Determinação da resistência à tração na flexão com idade de 14 dias.....	679
Anexo II - Determinação da resistência à tração na flexão com idade de 28 dias.....	71
Anexo III - Determinação da resistência à compressão com idade de 14 dias .....	73
Anexo IV - Determinação da resistência à compressão com idade de 28 dias .....	75
Anexo V - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de referência.....	77
Anexo VI - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de vidro 1,0% .....	79
Anexo VII - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de vidro 2,0% .....	81
Anexo VIII - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de polipropileno 1,0%.....	83
Anexo IX - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de polipropileno 1,5% .....	85



## RESUMO

A argamassa de revestimento de fachada utilizada na construção civil exerce, além de funções estéticas, funções relacionadas com a proteção do edifício contra agentes agressivos do ambiente. Com o objetivo de melhorar as suas propriedades, são adicionadas fibras com diversas características à argamassa. O presente trabalho apresenta uma comparação entre argamassa de referência e argamassas com incorporação de fibras de vidro e polipropileno, com base em ensaios laboratoriais que visam avaliar suas propriedades, entre elas o índice de consistência, absorção de água por imersão, capacidade de resistência à compressão, resistência de aderência à tração e resistência de tração à flexão. Pôde-se constatar que a incorporação das fibras resultou em um maior índice de vazios, diminuindo a capacidade mecânica das argamassa, entretanto, em alguns casos, as argamassas com fibras atingiram resultados similares a argamassa de referência, levantando a hipótese de que utilizando técnicas que diminuam a quantidade de ar incorporado, as fibras de vidro e polipropileno podem levar a um aumento das propriedades mecânicas das argamassas.

Palavras-chave: Argamassa. Fibra de vidro. Fibra de polipropileno.





## **ABSTRACT**

The cladding mortar used in civil construction has, besides aesthetic functions, functions related to the protection of the building against aggressive environmental agents. With the objective of improving its properties, fiber with different characteristics are added to the mortar. The present study presents a comparison between a reference mortar and mortar with the addition of glass fiber and polypropylene, based on laboratory tests aimed at assessing its properties, among them the consistency index, immersion water absorption, capacity of compressive strength, tensile bond strength and flexural tensile strength. It was possible to note that the incorporation of the fibers resulted in a higher borehole index, decreasing mechanical capacity of mortar, however, in some cases the mortar with fibers reached results similar to the reference mortar, raising the hypothesis that using techniques that reduces the amount of air incorporated, glass fibers and polypropylene can lead to an increase in mechanical properties of mortars.

Keywords: Mortars. Glass fiber. Polypropylene fiber.



## ÍNDICE DE TEXTO

CAPÍTULO 1	Introdução .....	1
1.1	Objetivos .....	2
1.1.1	Objetivo geral .....	2
1.1.2	Objetivos específicos .....	2
1.2	Metodologia.....	3
1.3	Estrutura do trabalho.....	3
CAPÍTULO 2	Estado da arte .....	6
2.1	Argamassa.....	6
2.2	Argamassa de revestimento: definição, características e funções.....	7
2.3	Patologias em revestimentos argamassados.....	10
2.4	Fibras de Polipropileno .....	14
2.5	Fibras de Vidro .....	15
2.6	Propriedades de argamassas com adição de fibras.....	17
2.6.1	Propriedades de argamassas com adição de fibras no estado fresco.....	17
2.6.2	Propriedades de argamassas com adição de fibras no estado endurecido .....	22
2.7	Interação fibra matriz .....	27
CAPÍTULO 3	Campanha experimental.....	29
3.1	Caracterização de materiais.....	29
3.1.1	Fibras de vidro .....	29
3.1.2	Fibras de polipropileno.....	30
3.1.3	Aglomerante hidráulico .....	31

3.1.4	Composição granulométrica e módulo de finura da areia .....	31
3.2	Definição dos traços ensaiados.....	33
3.3	Produção dos traços de argamassa .....	33
3.4	Moldes dos ensaios.....	34
3.5	Ensaio da argamassa no estado fresco.....	36
3.5.1	Determinação do índice de consistência.....	36
3.5.2	Determinação da densidade de massa fresca .....	38
3.6	Ensaio da argamassa no estado endurecido .....	39
3.6.1	Determinação da resistência à tração na flexão .....	39
3.6.2	Determinação da resistência à compressão .....	41
3.6.3	Determinação da resistência de aderência à tração .....	42
3.6.4	Determinação de absorção da água por imersão.....	444
CAPÍTULO 4	Resultados.....	47
4.1	Ensaio da argamassa no estado fresco.....	47
4.1.1	Determinação do índice de consistência.....	47
4.1.2	Determinação da densidade de massa fresca .....	49
4.2	Ensaio da argamassa no estado endurecido .....	49
4.2.1	Determinação da resistência à tração na flexão .....	50
4.2.2	Determinação da resistência à compressão .....	53
4.2.3	Determinação da resistência de aderência à tração .....	55
4.2.4	Determinação de absorção de água por imersão.....	58
CAPÍTULO 5	Considerações finais.....	61
5.1	Conclusões .....	61
5.2	Desenvolvimentos Futuros .....	62
	Referências Bibliográficas.....	63
	Anexo I - Determinação da resistência à tração na flexão com idade de 14 dias .....	67
	Anexo II - Determinação da resistência à tração na flexão com idade de 28 dias .....	69

Anexo III - Determinação da resistência à compressão com idade de 14 dias .....	71
Anexo IV - Determinação da resistência à compressão com idade de 28 dias .....	73
Anexo V - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de referência .....	75
Anexo VI - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de vidro 1,0% .....	77
Anexo VII - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de vidro 2,0% .....	79
Anexo VIII - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de polipropileno 1,0% .....	81
Anexo IX - Determinação da resistência de aderência à tração do traço de polipropileno 1,5% .....	83



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Camadas do revestimento em argamassa.....	8
Figura 2.2 – Aplicação manual da argamassa de revestimento. ....	9
Figura 2.3 – Aplicação mecânica da argamassa de revestimento.....	9
Figura 2.4 – Eflorescência em superfície revestida com argamassa. ....	11
Figura 2.5 – Surgimento de bolor na superfície revestida com argamassa. ....	12
Figura 2.6 – Deslocamento de revestimento de fachada argamassada. ....	12
Figura 2.7 – Falta de aderência entre o chapisco e a superfície lisa de betão.....	14
Figura 2.8 – Fibras de papel Kraft.....	19
Figura 2.9 – Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão. ....	24
Figura 2.10 – Adesão adequada entre o revestimento e o substrato.....	25
Figura 3.1 – Fibras de vidro. ....	29
Figura 3.2 – Fibras de polipropileno.....	30
Figura 3.3 – Curva granulométrica da areia. ....	32
Figura 3.4 – Moldes para determinação de resistência à tração na flexão. ....	35
Figura 3.5 – Corpo-de-prova proveniente do ensaio de tração à flexão utilizados no ensaio de determinação de resistência à compressão e absorção de água por imersão.....	35
Figura 3.6 – Molde para ensaio de determinação de aderência à tração.....	36
Figura 3.7 – Molde de tronco de cone sobre mesa de espalhamento.....	37
Figura 3.8 – Espalhamento do tronco de cone. ....	37
Figura 3.9 – Medição do espalhamento do tronco de cone.....	38
Figura 3.10 – Becker de vidro preenchido com 1800 milímetros cúbicos do Traço 1.....	38

Figura 3.11 – Posicionamento do corpo-de-prova sobre os suportes de aço da prensa. ....	39
Figura 3.12 – Ruptura do corpo-de-prova prismático com adição de fibras de polipropileno. ....	40
Figura 3.13 – Corpo-de-prova rompido após ensaio de determinação de resistência à compressão. ....	41
Figura 3.14 – Pastilhas coladas sobre revestimento de argamassa. ....	42
Figura 3.15 – Dinamômetro de tração posicionado sobre a pastilha de alumínio. ....	43
Figura 3.16 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco. ....	444
Figura 3.17 – Corpos-de-prova armazenados na estufa. ....	444
Figura 3.18 – Corpos-de-prova submersos em recipiente contendo água. ....	45
Figura 4.1 – Gráfico de comparação do índice de consistência entre o traço de referência e os traços com adições de fibras de vidro. ....	48
Figura 4.2 – Gráfico de comparação do índice de consistência entre o traço de referência e os traços com adições de fibras de polipropileno. ....	48
Figura 4.3 – Gráfico de médias de resistência de tração à flexão das argamassas aos 14 dias. ....	50
Figura 4.4 – Gráfico de médias de resistência de tração à flexão das argamassas aos 28 dias. ....	51
Figura 4.5 – Corpo-de-prova com adição de fibras de polipropileno rompido no ensaio de resistência de tração à flexão. ....	522
Figura 4.6 – Gráfico de médias de resistência à compressão das argamassas. ....	54
Figura 4.7 – Gráfico de comparação da absorção de água por imersão dos traços. ....	59
Figura V.1 – Forma de ruptura CP1. ....	76
Figura V.2 – Forma de ruptura CP2. ....	76
Figura V.3 – Forma de ruptura CP3. ....	76
Figura V.4 – Forma de ruptura CP4. ....	76
Figura V.5 – Forma de ruptura CP5. ....	76
Figura V.6 – Forma de ruptura CP6. ....	76
Figura VI.1 – Forma de ruptura CP7. ....	78
Figura VI.2 – Forma de ruptura CP8. ....	78
Figura VI.3 – Forma de ruptura CP9. ....	78



Figura VI.4 – Forma de ruptura CP10. ....	78
Figura VI.5 – Forma de ruptura CP11. ....	78
Figura VI.6 – Forma de ruptura CP12. ....	78
Figura VII.1 – Forma de ruptura CP13. ....	80
Figura VII.2 – Forma de ruptura CP14. ....	80
Figura VII.3 – Forma de ruptura CP15. ....	80
Figura VII.4 – Forma de ruptura CP16. ....	80
Figura VII.5 – Forma de ruptura CP17. ....	80
Figura VII.6 – Forma de ruptura CP18. ....	80
Figura VIII.1 – Forma de ruptura CP19. ....	82
Figura VIII.2 – Forma de ruptura CP20. ....	82
Figura VIII.3 – Forma de ruptura CP21. ....	82
Figura VIII.4 – Forma de ruptura CP22. ....	82
Figura VIII.5 – Forma de ruptura CP23. ....	82
Figura VIII.6 – Forma de ruptura CP24. ....	82
Figura IX.1 – Forma de ruptura CP25. ....	84
Figura IX.2 – Forma de ruptura CP26. ....	84
Figura IX.3 – Forma de ruptura CP27. ....	84
Figura IX.4 – Forma de ruptura CP28. ....	84
Figura IX.5 – Forma de ruptura CP29. ....	84
Figura IX.6 – Forma de ruptura CP30. ....	84

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação das argamassas segundo as suas funções. ....	7
Tabela 2.2 – Composição química da fibra de vidro tipo E.....	16
Tabela 3.1 – Características da fibra de vidro. ....	30
Tabela 3.2 – Características da fibra de polipropileno. ....	30
Tabela 3.3 – Composição granulométrica da areia. ....	31
Tabela 3.4 – Traços das argamassas.....	33
Tabela 4.1 – Determinação do índice de consistência. ....	47
Tabela 4.2 – Determinação da densidade de massa. ....	49
Tabela 4.3 – Média de resistência à tração na flexão aos 14 dias. ....	50
Tabela 4.4 – Média de resistência à tração na flexão aos 28 dias. ....	51
Tabela 4.5 – Média de resistência à compressão com idade de 14 dias.....	53
Tabela 4.6 – Média de resistência à compressão com idade de 28 dias.....	53
Tabela 4.7 – Determinação de resistência de aderência à tração e formas de ruptura. ....	56
Tabela 4.8 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra). ....	57
Tabela 4.9 – Determinação de absorção de água por imersão.....	58
Tabela 4.10 – Determinação da média de absorção da água por imersão. ....	59
Tabela I.1 – Determinação da resistência à compressão com idade de 14 dias. ....	67
Tabela II.1 – Determinação da resistência à compressão com idade de 28 dias. ....	69
Tabela III.1 – Determinação da resistência à compressão com idade de 14 dias. ....	71
Tabela IV.1 – Determinação da resistência à compressão com idade de 28 dias.....	73

Tabela V.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço referência. ....	75
Tabela VI.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço vidro 1,0%. ....	77
Tabela VII.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço vidro 2,0%. ....	79
Tabela VIII.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço polipropileno 1,0%. ....	81
Tabela IX.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço polipropileno 1,5%. ....	83



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Devido à concorrência acirrada no mercado da construção civil, empresas comumente reduzem os prazos de suas construções, prometendo obras mais velozes e de qualidade garantida. No entanto, esta redução de prazo acarreta na queda de qualidade dos componentes do edifício. Figueiredo Júnior (2017), afirma que o surgimento de patologias incidentes nos revestimentos aderidos de fachada ocorre principalmente pela má execução, seguido da má qualidade dos materiais utilizados.

Atualmente uma grande parcela da ocorrência de patologias em fachadas de edifícios está relacionada aos componentes utilizados na fabricação da argamassas de revestimento. Esse material, amplamente utilizado na construção civil, exerce funções relacionadas com a proteção dos elementos da estrutura do edifício contra agentes agressivos do ambiente.

A infiltração de água da chuva por meio de fissuras presentes no revestimentos de argamassa pode acarretar em manifestações patológicas caracterizadas por surgimento de eflorescência, mofo, bolor e outras manifestações mais graves, como a perda de aderência entre o revestimento e a superfície de contato e seu possível deslocamento.

O deslocamento do revestimento de argamassas também pode estar relacionado à falta de aderência entre a superfície e o revestimento. Este tipo de patologia ocorre em casos onde a espessura do revestimento é espessa demais, ou a superfície de aplicação muito lisa, entre outros casos.

Com o intuito de melhorar o desempenho das argamassas, pesquisadores estudam materiais que podem ser utilizados como adições com o objetivo de minimizar as patologias. Dentre estes materiais destacam-se as argamassas reforçadas com diferentes tipos de fibras. Segundo Oliveira (2001), as fibras incorporadas têm como princípio básico a capacidade de melhorar as propriedades de uma matriz frágil, de modo a diminuir o surgimento de patologias relacionadas a argamassas estruturais e de revestimento de fachadas.

A incorporação de fibras em matrizes cimentícias pode ocasionar na diminuição do efeito da retração, principalmente referente à fissuração (BENTUR E MINDESS, 2007, cit. por TEIXEIRA, 2015, p.18). Sendo

assim, a adição de fibra em argamassas de revestimento pode ter um efeito sobre a durabilidade de estruturas a partir da redução da probabilidade de ocorrência de corrosão de armaduras.

A pesquisa de Prado et al. (2015), constatou que a incorporação de fibras possibilitou a melhora de propriedades na argamassa, como a retração da argamassa, diminuição de absorção de água por capilaridade, entre outras.

Hannant (1998), cit. por Oliveira (2001), afirma que a aderência entre as fibras de polipropileno e a matriz à base de cimento não é afetada, mesmo em períodos acima de 18 anos. Ela afirma que este estudo aumenta a confiança no emprego do polipropileno como reforço de materiais cimentícios, onde a estabilidade do mesmo permite a sua aplicação a longo prazo.

Esta dissertação tem por objetivo apresentar uma análise comparativa do desempenho das principais características físicas e mecânicas das argamassas de revestimentos modificadas com a incorporação de diferentes teores de fibras de vidro e polipropileno, contribuindo assim com o atual estado da arte de argamassas com adições. Através de ensaios laboratoriais, este trabalho analisa o comportamento mecânico de corpos-de-prova de argamassas em relação a resistência à compressão, à tração na flexão, a capacidade de aderência a superfície, a absorção de água por imersão, o índice de consistência e densidade de massa fresca.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Comparar o desempenho das principais características físicas e mecânicas das argamassas de revestimentos modificadas com a adição de fibras de vidro e polipropileno através de ensaios de determinação, da resistência à compressão, da resistência à tração na flexão, do índice de consistência, da densidade de massa fresca, da aderência a superfície e ensaios de absorção de água por imersão.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

Verificar as alterações nas propriedades da argamassa de referência após adição de fibras

Avaliar o efeito da incorporação das fibras nas propriedades do estado fresco das argamassas de revestimento através de ensaios de índice de consistência e determinação da densidade de massa fresca.

Analisar o comportamento mecânico de provetes de argamassas através de ensaios de resistência à compressão e à tração na flexão.

Analisar a capacidade de aderência a superfície das argamassas através de ensaios de resistência de aderência à tração.

Avaliar as propriedades de permeabilidade à água através de ensaios de absorção de água por imersão em provetes de argamassa.

Fazer uma análise comparativa dos resultados obtidos para os diferentes tipos de argamassas ensaiadas.

## **1.2 METODOLOGIA**

Este trabalho é desenvolvido por meio de pesquisa teórica e prática laboratorial.

A pesquisa teórica tem como base a pesquisa bibliográfica acerca das características das fibras de vidro e polipropileno. São utilizadas as normas técnicas NBR 13276 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002) para a determinação da trabalhabilidade da argamassa, NBR 13278 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005) para a determinação da densidade de massa fresca, NBR 9778 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987) para determinar o índice de absorção de água por imersão, NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005), que estabelece os métodos de determinação da resistência à tração na flexão e compressão em moldes prismáticos e a NBR 13528 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010), necessária para obter a resistência de aderência à tração entre a argamassa de revestimento e a base.

A parte prática laboratorial da pesquisa é constituída em, caracterização dos materiais utilizados e em ensaios realizados em argamassas divididas em 5 composições, sendo 6 corpos-de-prova para cada traço totalizando 30 corpos-de-prova produzidos, sendo uma o traço de argamassa de referência e as demais, dois traços com teores diferentes para cada tipo de fibra. No estado fresco são realizados os ensaios de determinação, do índice de consistência e da densidade de massa fresca nas argamassas e no estado endurecido são feitos ensaios para determinar, a resistência à tração na flexão, a resistência à compressão, a resistência de aderência à tração e o índice de absorção de água por imersão. Ao final é realizada uma análise comparativa dos resultados obtidos da argamassa de referência com as argamassas modificadas com as adições de fibras.

## **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Esta dissertação estará estruturada em cinco seções.

O capítulo 1 apresentará a Introdução, composta pelos seguintes itens: texto de conceituação e caracterização do tema, objetivos e metodologia.

O capítulo 2 apresentará a pesquisa bibliográfica acerca de argamassa, adições utilizadas em argamassas, em especial fibras de vidro e polipropileno e patologias em argamassas de revestimento relacionados ao deslocamento por aderência ou efeitos de capilaridade.

O capítulo 3 contemplará a caracterização dos materiais utilizados, a descrição dos ensaios realizados durante campanha experimental e concluirá os objetivos específicos.

O capítulo 4 irá conter a apresentação, comparações e discussão dos resultados obtidos e será verificado se esses resultados atendem as especificações estabelecidas por normas técnicas.

O capítulo 5 relatará as conclusões do trabalho e indicará algumas recomendações para pesquisas futuras.

Por último, será apresentada a bibliografia que contribuiu para o desenvolvimento da dissertação e em anexo, os resultados dos ensaios contemplados na campanha experimental.





## CAPÍTULO 2

### ESTADO DA ARTE

#### 2.1 ARGAMASSA

A NBR 13281 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005) define argamassa como uma mistura homogênea de agregado(s) miúdo(s), aglomerante(s) inorgânico(s) e água, contendo ou não aditivos, com propriedades de aderência e endurecimento, podendo ser doseada em obra. Em relação a argamassas industrializadas, estas podem ser definidas, de acordo com a mesma norma citada anteriormente, como sendo “um produto proveniente da dosagem controlada, em instalação própria, de aglomerantes de origem mineral, agregado(s) miúdo(s) e, eventualmente, aditivo(s) e adição(ões) em estado seco e homogêneo, ao qual o usuário somente necessita adicionar a quantidade de água requerida.”

A norma portuguesa EN 196-1 (2006), “Métodos de ensaio de cimentos Parte 1: Determinação das resistências mecânicas”, define a composição da argamassa de referência ou de controle, como sendo de uma parte de cimento, três partes de areia normalizada e meia parte de água.

De acordo com Martins e Soares (2016), afirmam que as argamassas são classificadas de acordo com muitos critérios, sendo a consistência, plasticidade e forma de preparo da argamassa, assim como a natureza, tipo e número de aglomerantes, alguns dos critérios adotados. Carasek (2017) classifica os tipos de argamassas conformes as funções que elas devem exercer conforme a Tabela 2.1 a seguir:

Tabela 2.1 – Classificação das argamassas segundo as suas funções. (Carasek, 2017)

Função	Tipos
Para construção de alvenarias	Argamassa de assentamento (elevação da alvenaria)
	Argamassa de fixação (ou encunhamento) - alvenaria de vedação
Para revestimento de paredes e tetos	Argamassa de chapisco
	Argamassa de emboço
	Argamassa de reboco
	Argamassa de camada única
	Argamassa para revestimento decorativo monocamada
Para revestimento de pisos	Argamassa de contrapiso
	Argamassa de alta resistência para piso
Para revestimentos cerâmicos (paredes / pisos)	Argamassa de assentamento de peças cerâmicas – colante
	Argamassa de rejuntamento
Para recuperação de estruturas	Argamassa de reparo

## 2.2 ARGAMASSA DE REVESTIMENTO: DEFINIÇÃO, CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES

O revestimento de argamassa é a proteção de uma superfície porosa com uma ou mais camadas superpostas, com espessura normalmente uniforme, resultando em uma superfície apta a receber de maneira adequada uma decoração final. (SZLAK et al., 2002)

O revestimento argamassado pode ser constituído por várias camadas sobrepostas com características e funções específicas conforme a Figura 2.1 a seguir:

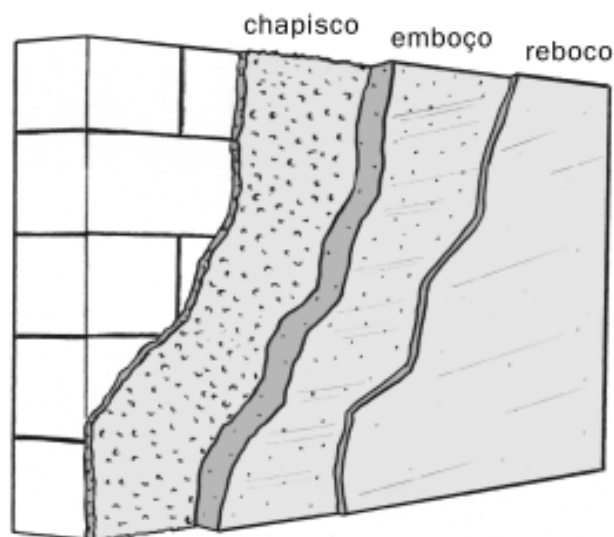


Figura 2.1 – Camadas do revestimento em argamassa. (Szlak et al., 2002, p.12)

- O chapisco é a camada de preparo da base, constituída de mistura de cimento, areia e aditivos, aplicada de forma contínua ou descontínua, com a finalidade de uniformizar a superfície quanto à absorção e melhorar a aderência do revestimento; (Szlak et al. 2002)
- Emboço é definido como a camada de revestimento executada para cobrir e regularizar a superfície da base com ou sem chapisco, propiciando uma superfície que permita receber outra camada de reboco ou de revestimento decorativo, ou que se constitua no acabamento final; (Szlak et al. 2002)
- Reboco é uma camada de revestimento utilizada para o cobrimento do emboço, propiciando uma superfície que permita receber o revestimento decorativo ou que se constitua no acabamento final. (Szlak et al. 2002)

Segundo Yazigi (2004), um aspecto importante a ser considerado nas argamassas é a espessura do revestimento devendo este ter preferivelmente entre 2 e 3 centímetros. Em seu livro, Yazigi afirma que se caso a espessura for acima de 2,5 cm, a aplicação da argamassa deverá ser feita em duas camadas.

Segundo Martins e Soares (2016), o revestimento argamassado exerce diversas funções, como a de proteger a base da ação direta dos agentes agressivos, como água e gases que poderiam causar a degradação desses elementos. Ele trabalha também com o sistema de vedação do edifício contribuindo com o isolamento térmico e acústico.

Para Carasek (2017), a argamassa de revestimento é utilizada para revestir paredes, muros e tetos, os quais, geralmente, recebem acabamentos como pintura, revestimentos cerâmicos, laminados, etc.

Cincotto et al. (1995), cit. por Figueiredo Júnior (2017), afirmam que o revestimento deve apresentar ainda a estabilidade mecânica, dimensional (resistência à tração, compressão) e resistência ao fogo.

Para cumprir todas essas funções, os revestimentos de argamassa devem apresentar diversas propriedades, como indica Szlak et al. (2002), em seu livro, definindo primeiramente a capacidade de aderência como a propriedade que possibilita à camada de revestimento resistir às tensões normais e tangenciais atuantes na interface com a base.

Para garantir a aderência entre o revestimento e à base, a superfície de contato entre esses dois materiais deverá ter a maior extensão possível. Além da maior superfície de contato, a aderência também depende de outros fatores como a trabalhabilidade e as formas de aplicação que podem ser divididas em aplicação manual, utilizando uma colher de pedreiro (Figura 2.2), ou mecânica (Figura 2.3), através de um jateador a ar comprimido ou bombas com mangotes. (CAVANI, 2004, cit. por Figueiredo Júnior, 2017)



Figura 2.2 – Aplicação manual da argamassa de revestimento. (Isaia, 2007, cit. por Figueiredo Júnior, 2017)



Figura 2.3 – Aplicação mecânica da argamassa de revestimento. (Isaia, 2007, cit. por Figueiredo Júnior, 2017)

Além capacidade de aderência das argamassas, outras propriedades são essenciais visando satisfazer às funções citadas anteriormente, sendo algumas destas:

- Trabalhabilidade e consistência;
- Capacidade de permeabilidade à água;
- Capacidade de absorver deformações;
- Densidade de massa aparente no estado fresco e endurecido;
- Resistência à compressão;
- Resistência à tração na flexão;
- Resistência potencial de aderência à tração.

## **2.3 PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS**

As edificações, e em especial seus revestimentos, estão sujeitos a uma grande variedade de ações devidas a fenômenos de origem natural ou à própria utilização da construção. Devido a essas ações é comum a manifestação de diversas patologias em revestimentos argamassados.

A aparição de patologias em revestimentos está normalmente relacionada a processos físicos, mecânicos, biológicos e químicos ou ainda pela falta de conhecimento técnico na hora de executar o revestimento.

Patologias em revestimento externo relacionadas com a infiltração de água da chuva são caracterizadas pelo surgimento de eflorescência, manchas de umidade, mofo e bolor. Esse tipo de patologia ocorre quando a água da chuva penetra no revestimento por meio de fissuras em sua superfície.

De acordo com Perez (1988), as patologias ocasionadas devido a infiltração por água podem ser classificadas de acordo com a origem do fenômeno e a forma como se manifestam, indicando que a umidade incidente nos revestimentos pode ser proveniente:

- Da fase de obras: umidade remanescente nos materiais utilizados na construção, se mantendo durante um certo período após o término da obra, diminuindo gradualmente até desaparecer;
- Da absorção e capilaridade dos materiais: absorção da água existente no solo pelas fundações das paredes e pavimentos, migrando para as fachadas e pisos;
- De infiltrações: água da chuva que penetra nas edificações através dos elementos constituintes de sua envoltória exterior;
- Da condensação: proveniente do vapor de água que se condensa nas superfícies, ou no interior dos elementos de construção;

- De eventos acidentais: umidade oriunda de vazamentos do sistema de distribuição e/ou coleta de águas da edificação.

As eflorescências são depósitos salinos caracterizadas pela presença de manchas de umidade e pelo acúmulo de pó branco sobre a superfície. As eflorescências são causadas pela ação da água, que devido a permeabilidade das argamassas, se infiltra pelos vazios e canais do revestimento e dissolve transportando sais solúveis até a superfície do revestimento. A Figura 2.4 a seguir apresenta um exemplo de surgimento de eflorescência sobre a fachada de um prédio.



Figura 2.4 – Eflorescência em superfície revestida com argamassa. (Ferreira, 2010)

De acordo com Fiorito (1994), devem ocorrer três fatores ao mesmo tempo para que haja a possibilidade de ocorrência de eflorescências, de modo que, caso um dos fatores não ocorra, a eflorescência não se manifestará. Os três fatores fundamentais são:

- O teor de sais solúveis presentes nos materiais ou componentes;
- A presença de água;
- A pressão hidrostática para propiciar a migração da solução para a superfície.

A incidência de umidade constante, principalmente em áreas não expostas ao sol, propicia também o surgimento de mofo ou bolor na superfície do revestimento, que são causados pelo surgimento e proliferação de fungos que se desenvolvem na presença da umidade que foi absorvida pela argamassa. O desenvolvimento desses microrganismos promovem, a decomposição dos revestimentos de fachadas

caracterizados pela formação de manchas de tonalidades escuras, conforme a Figura 2.5, e em piores casos podem acarretar em doenças respiratórias para os moradores.



Figura 2.5 – Surgimento de bolor na superfície revestida com argamassa. (Isaia, 2007, cit. por Figueiredo Júnior, 2017)

Os descolamentos em revestimentos de argamassa ocorrem de modo a separar uma ou mais camadas dos revestimentos argamassados. Isso acontece devido à perda de aderência entre os revestimentos causada por tensões que ultrapassam a capacidade de aderência das ligação causando assim a ruptura entre camadas ou entre o revestimento e a base conforme a Figura 2.6.



Figura 2.6 – Deslocamento de revestimento de fachada argamassada. (Isaia, 2017, Figueiredo Júnior, 2017)



De acordo com Barros e Sabbatini (2001), existem diversas causas vinculadas ao descolamento de revestimentos de fachadas, sendo algumas delas listadas a seguir:

- O grau de solicitação do revestimento;
- A instabilidade de suporte, dada à acomodação do conjunto da construção, fluência da estrutura de betão armado, variações hidrotérmicas e de temperatura;
- As características das juntas de movimentação;
- A ausência de detalhes construtivos (contravergas, juntas de canto de parede, etc.) e de especificação dos serviços de execução;
- A imperícia ou negligência da mão-de-obra.

Outro fator que pode causar este tipo de patologia está ligado ao traço da argamassa utilizada, onde o excesso de cimento resulta em um material com pouca elasticidade restringindo assim a sua capacidade de absorver as movimentações da estrutura.

O deslocamento do revestimento de argamassas também pode estar relacionado a falta de aderência entre a superfície e o revestimento. Este tipo de patologia ocorre em casos onde a espessura do revestimento é muito espessa, gerando assim uma força gravitacional maior que a adesão inicial com a superfície de aplicação.

Segat (2005), fez em seu trabalho o levantamento das patologias encontradas em um conjunto habitacional e foi constatado dois casos de descolamento do revestimento argamassado. Segat concluiu que a causa no primeiro caso foi a incompatibilidade de medidas entre esquadria e vão da parede resultando em uma camada espessa de revestimento. Já no segundo caso uma camada de pequena espessura de revestimento sobre a tubulação de água foi a causa da patologia.

Outro caso de deslocamento em revestimento pode ser ocasionado pela aplicação da argamassa sobre uma superfície muito lisa sem chapisco ou a falta de aderência entre a base e o próprio chapisco (Figura 2.7) como elemento ligante entre a base e o revestimento. Além disso outros casos podem ser observados como a aplicação da argamassa sobre superfícies impermeabilizadas, impedindo a penetração da nata do aglomerante do substrato.



Figura 2.7 – Falta de aderência entre o chapisco e a superfície lisa de betão. (Isaia, 2017, cit. por Figueiredo Júnior, 2017)

Para Medeiros e Sabbatini (1999), das patologias relacionadas a revestimentos de fachada, o descolamento é um dos casos mais críticos, dados os riscos de acidente em virtude da queda de placas ou partes das camadas.

## 2.4 FIBRAS DE POLIPROPILENO

Segundo Oliveira (2001), o polipropileno é um termoplástico, derivado do monômero propileno ( $C_3H_6$ ), obtido pelo craqueamento do petróleo, através da síntese de elementos orgânicos. Taylor (1994), cit. por Oliveira (2001), afirma que a grande flexibilidade e tenacidade das fibras de polipropileno, podem ser atribuídas a composição deste polímero que apresenta cadeias longas de alto peso molecular e desenvolvimento helicoidal. Além disso, Taylor também atribui a esta característica, um aumento substancial de resistência ao impacto nos materiais a que estão incorporadas.

Dantas (1987), cit. por Silva (2006), comenta que o uso de fibras de polipropileno, foi inicialmente direcionado para reforçar o betão para a construção de edifícios resistentes à explosão. Tanesi e Figueiredo (1999), cit. por Teixeira (2015), relatam que, em 1966 a Shell, empresa brasileira relacionada ao petróleo, desenvolveu e patenteou o processo de fabricação de fibras de polipropileno em forma de filmes fibrilados picotados para utilização na construção civil, já que este material apresentava um custo relativamente baixo, boa qualidade e com poucos problemas de comercialização e produção.

Segundo Silva (2006), atualmente as fibras comercializadas são produzidas a partir de dois grupos de matéria-prima: vegetais ou sintéticos. Fibras de aço, carbono, vidro e poliméricas, como é o caso das fibras de polipropileno, são alguns exemplos de fibras vegetais.

As fibras de polipropileno apresentam baixa resistência e baixo módulo de elasticidade. Esta característica concede as fibras de polipropileno algumas desvantagens quando comparada com as fibras de carbono, exemplos de fibras com alta resistência e alto módulo de elasticidade.

As vantagens que fibras como a de carbono possuem sobre as fibras de polipropileno estão relacionadas com o aumento da capacidade da resistência à flexão antes e/ou depois da fissuração da matriz, mesmo com baixos teores de fibra.

Entretanto, segundo Bentur e Mindess (1990), cit. por Silva (2006), as fibras poliméricas são as mais atrativas para reforçar matriz de cimento, como é o caso das fibras de polipropileno, que possuem uma temperatura de fusão relativamente alta (165°C), o baixo preço de sua matéria prima e não estarem sujeitas à corrosão, além de resistirem ao ataque químico em meio alcalino, não comprometem o desempenho do compósito ao longo da vida útil da edificação. Porém, essas fibras apresentam como desvantagens sua fraca resistência ao fogo, sensibilidade à luz do sol e ao oxigênio e fraca aderência com a matriz cimentícia.

Ainda segundo Bentur e Mindess (1990), cit. por Siqueira (2006), a fraca aderência entre as fibras de polipropileno e a matriz cimentícia, pode ser explicada pela estrutura molecular das fibras poliméricas possuir propriedades hidrofóbicas. Desse modo, a transferência de tensões entre as fibras e a matriz não são efetivas já que as propriedades hidrofóbicas, tornam fracas as interfaces fibra/matriz desenvolvidas.

Fontan Júnior (2009), afirma que para solucionar esses problemas, são utilizados, no processo de fabricação dessas fibras, agentes de acoplamento em processos de tratamento superficial das fibras e de modificações químicas na resina, melhorando as características da interface fibra/matriz das fibras de polipropileno incorporadas em matrizes cimentícias.

## **2.5 FIBRAS DE VIDRO**

De acordo com Fontan Júnior (2009), o tipo de fibra sintética mais utilizada em compósitos com matriz polimérica, é a de vidro, sendo essas fibras aplicadas em diversos produtos com o objetivo de reforçá-los e essas fibras utilizadas são, em sua grande maioria, do tipo E.

As fibras de vidro do tipo E são obtidas a partir de uma mistura de óxidos de Si, Al, B e Ca. De acordo com Pinto (2002), elas recebem um recobrimento, chamado encimagem, feito com agentes de acoplamento compatíveis com as resinas de poliéster, ester-vinílica e epóxi. A Tabela 2.2 representa a composição química básica deste tipo de fibra.

Tabela 2.2 – Composição química da fibra de vidro tipo E. (Smith, 1996, cit. por Pinto, 2002).

Principais componentes	Composição (% em peso)
SiO <sub>2</sub>	52-56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12-16
CaO	16-25
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8-13

A fibra de vidro do tipo E, recebe aplicações de resinas, silicones, fenóis e outros compostos solúveis em solventes orgânicos, com objetivo de agregar os filamentos finos de vidro que compõem este tipo de fibra.

Segundo Peruzzi (2002), as fibras de vidro, apesar de serem provenientes de um material frágil como é o caso do vidro, apresentam propriedades satisfatórias para serem utilizadas na construção civil, podendo-se citar as propriedades a seguir:

- Baixo custo de produção;
- Alta resistência à tração e à vibração;
- Boa capacidade mecânica a altas temperaturas;
- Não são passíveis de inalação, embora o contato com a pele possa causar irritação.

Entretanto, este tipo de fibra também apresenta desvantagens que estão associadas ao baixo módulo de elasticidade, auto abrasividade e à baixa resistência a fadiga quando agregada em compósitos (VIEIRA, 2008).

Além das desvantagens citadas anteriormente, as fibras de vidro tipo E apresentam uma inadequada resistência ao meio alcalino da matriz de cimento Portland, reduzindo significativamente suas propriedades mecânicas e fazendo com que esta fibra perca sua flexibilidade e sua resistência à tração, enfraquecendo assim toda a mistura.

O mecanismo de degradação da fibra de vidro é complexo, mas, pode-se dizer que a matriz de cimento continua seu processo de cura durante alguns anos, com isso, cristais de Ca(OH)<sub>2</sub> se formam sobre e ao redor dos fios da fibra de vidro, causando uma perda de flexibilidade da fibra e, conseqüentemente, do compósito. (PURNELL, 2001, cit. por PERUZZI, 2002).

Devido à esta limitação, foram desenvolvidas fibras de vidro álcali resistente (AR), que contém em sua composição óxido de zircônio ( $ZrO_2$ ), sendo que a quantidade ótima da presença deste gira entre 15% e 20% (MARTEN, 1998, cit. por Peruzzi, 2002). Tezuka (1989), cit. por Peruzzi (2002), relata que as fibras de vidro álcali resistentes utilizadas em sua pesquisa, obtiveram uma considerável resistência ao meio alcalino, sendo este aumento de resistência, atribuído a presença de cerca de 16% de óxido de zircônio na composição do vidro.

Purnell et al. (2000), cit. por Peruzzi (2002), afirmam que o processo de corrosão da fibra de vidro AR pelo ataque químico do meio alcalino do cimento é mínima, ou desprezível, entretanto, apesar de auxiliar na diminuição do ataque do pH elevado, essas fibras não resolvem totalmente o problema da durabilidade da mistura, devido a presença de  $Ca(OH)_2$ .

## **2.6 PROPRIEDADES DE ARGAMASSAS COM ADIÇÃO DE FIBRAS**

As argamassas com incorporação de fibras necessitam das mesmas propriedades, para obterem um bom desempenho, que as argamassas atualmente utilizadas na construção civil. Sendo assim, a seguir destacam-se as propriedades necessárias às argamassas, em seu estado fresco e endurecido, abrangendo também seus significados e pesquisas que utilizaram a adição de diversos tipos fibras em matrizes cimentícias.

### **2.6.1 Propriedades de argamassas com adição de fibras no estado fresco**

#### **2.6.1.1 Trabalhabilidade**

Trabalhabilidade pode ser definido como uma propriedade das argamassas relacionada com a facilidade ou dificuldade do manuseio, transporte e aplicação das mesmas. Uma boa trabalhabilidade além de facilitar as atividades citadas, proporcionará um adequado desempenho do revestimento. Tendo trabalhabilidade adequada, a argamassa poderá apresentar contato mais extenso com a base através de um melhor espalhamento.

Segundo Muller (1999), cit. por Oliveira (2001), para se obter uma boa trabalhabilidade em argamassas, deve-se levar em consideração diversos fatores como a qualidade dos agregados e dos aglomerantes, quantidade de água utilizada na mistura, consistência, capacidade de retenção de água da argamassa, tempo decorrido da preparação da argamassa, adesão, entre outros fatores. Além disso, em relação as curvas granulométricas dos agregados, afirma-se que, quanto menor o módulo de finura e mais contínua for a curva, maior será a trabalhabilidade.

Yagizi (2004), aponta que a argamassa deve ter uma trabalhabilidade, de tal maneira que a mesma não deve aderir a ferramenta de aplicação mesmo após ter sido transportada para o local da aplicação da argamassa.

Já para Oliveira (2001), uma boa trabalhabilidade é caracterizada pela facilidade de espalhamento da argamassa sobre o substrato e sua adesão a superfície, e ainda no caso das argamassas de revestimento quando proporciona facilidade no seu acabamento final.

Considerada como uma propriedade subjetiva das argamassas, a trabalhabilidade deve ser ajustada conforme a sua forma de aplicação, tendo em vista que propriedades como a consistência e a plasticidade deverão ser diferentes em argamassas aplicadas por meio de colher ou projetadas mecanicamente (BORGES, 2012). A consistência e a plasticidade são propriedades que expressam substancialmente a trabalhabilidade. O índice de consistência é capaz de determinar a capacidade de fluidez da argamassa através do ensaio conhecido como “Flow Test”, normatizado no Brasil pela NBR 13276 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002).

Ao estudar os resultados obtidos por Oliveira (2001), que adicionou fibras de polipropileno à argamassa, observa-se que estas fibras foram capazes de melhorar a coesão das matrizes, resultando assim em uma redução da trabalhabilidade e do índice de consistência diretamente proporcional ao teor de fibra incorporado. Ela afirma que esta redução ocorreu devido ao fato das fibras de polipropileno, utilizadas na pesquisa, possuírem um baixo diâmetro, que facilita o aumento do número de fibras dispersas na matriz.

Siqueira (2006), constatou em sua pesquisa que mesmo havendo um menor índice de consistência, resultando em uma perda de trabalhabilidade nas argamassas contendo fibras, o mesmo não dificultou a aplicação da argamassa como revestimento em blocos cerâmicos.

A adição de fibras de polipropileno em argamassas alterou suas propriedades no estado fresco, resultando na necessidade de adaptação da quantidade de água na mistura, e consequentemente da relação água/aglomerante, para uma dada trabalhabilidade (SIQUEIRA, 2006).

Prado et al. (2015), evidenciaram que o aumento de 0 para 2,0% da quantidade de fibras de papelão, resultou em uma redução em torno de 21% da trabalhabilidade da argamassa produzida. Eles atribuíram este fato devido ao aumento da área de superfície dos materiais constituintes da argamassa fazendo com que fosse consumida maior quantidade de água para hidratação de toda a mistura.

No ensaio realizado por Martins e Soares (2016), a adição de fibras provenientes de papel Kraft (Figura 2.8), resultou em uma argamassa de revestimento com uma menor densidade, facilitando a sua aplicação sobre a fachada do edifício. Entretanto, as fibras utilizadas afetaram o serviço de sarrafeamento e acabamento final do revestimento devido à má dispersão das mesmas, dificultando a obtenção de uma cobertura homogênea. Além disso, foi observado que os painéis com fibra demoraram mais tempo para

obter o ponto de sarrafeamento e desempenho, o que pode ser explicado pelo fato de que a fibra, além de absorver parte da água de amassamento, ainda dificulta a saída da mesma (MARTINS E SOARES, 2016).



Figura 2.8 – Fibras de papel Kraft. (Martins e Soares, 2016)

#### **2.6.1.2 Retenção de água**

De acordo com Carasek (2017), a retenção de água é uma propriedade que está associada à capacidade de manutenção da argamassa fresca de manter a sua consistência e trabalhabilidade quando sujeita a solicitações que provocam perda de água de amassamento, por intermédio de evaporação, sucção ou absorção de água da base. Esta propriedade pode ser determinada, em argamassas, realizando os ensaios de determinação da retenção de água através do método do papel de filtro normatizado pela NBR 13277 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1995).

Segundo Muller (1999), as argamassas que possuem elevada retenção de água possuem a capacidade de hidratar o cimento sem que haja a perda de sua trabalhabilidade e plasticidade, enquanto que as argamassas com baixa retenção de água reduzem a consistência da argamassa, dificultando o seu manuseio e podendo ocasionar a expansão do substrato.

A perda de retenção de água irá interferir nas condições de contato da argamassa com o substrato e a retenção da umidade, ou seja, a capacidade de retenção de água da argamassa varia em função do potencial de absorção da base. (SABBATINI, 1984)

A resistência mecânica, a aderência e a durabilidade, são propriedades que dependem da retenção de água da argamassa, Thompson, cit. por Tristão e Machado (2003). Portanto as argamassas não devem perder água quando estão em contato com superfícies que apresentam sucção elevada ou por

evaporação, já que a retenção de água interfere nas reações químicas dos aglomerantes da argamassa que exigem uma quantidade adequada de água.

A capacidade de retenção de água das argamassas de revestimento varia em função do potencial de absorção da base de contato e ainda podendo ser influenciada pela:

- Área específica dos materiais constituintes na mistura;
- Maturação prévia das argamassas antes de sua utilização;
- Relação água/cimento no traço;
- Relação agregado/aglomerante do traço.

Oliveira (2001), em seu trabalho, compara dois traços de argamassas modificadas com fibras e constata que ocorre uma redução da retenção de água nessas argamassas na presença de cal, portanto concluindo que a cal inibe a capacidade de retenção de água das fibras. Szlak et al. (2002), contrária o que foi observado por Oliveira, afirmando que, em argamassas mistas, de cal e cimento, há a retenção de água em volta das partículas de cal devido a sua finura resultando em uma maior retenção de água na argamassa. Eles afirmam também que a cal pode contribuir para uma melhor hidratação do cimento, além de contribuir significativamente para a trabalhabilidade e capacidade de absorver deformações.

Siqueira (2006), estuda a adição de fibras de polipropileno, polietileno tereftalato (PET) e curauá (fibra vegetal) em argamassas. Ao realizar o ensaio de determinação de retenção de água, ele pode notar que houve um aumento dessa propriedade para a incorporação de 0,25% de fibra para praticamente todas os traços ensaiados e houve um decréscimo quando se adicionou 0,50% das fibras. Entretanto, Siqueira ressalta que a quantidade de água adicionada a cada mistura foi diferente, o que pode ter afetado o resultado dos testes.

Na pesquisa de Silva (2006), foi constatado que a adição de fibras de polipropileno na argamassa, influenciou no valor da retenção de água, de modo que, a adição do teor de fibras de 500g/m<sup>3</sup>, reduziu o valor de retenção de água de 95,3% para 81,9%.

### **2.6.1.3 Massa específica**

A massa específica consiste na relação de uma massa conhecida, de um material, com o volume real que esta massa ocupa, sendo desconsiderados os vazios permeáveis existentes. A forma de calcular a massa específica é apresentada pela NBR NM 52 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003).

Martins e Soares (2016), compararam a massa específica entre corpos de prova de argamassa de referência e reforçadas com adição de fibras de papel Kraft provenientes de embalagens de cal. Elas observaram que as argamassas com fibras apresentaram uma redução, em torno de 14,7%, de massa



específica em relação as argamassas de referência e atribuíram esse fato a densidade da fibra ser relativamente mais baixa, além de que a sua inserção leva a um aumento do teor de ar incorporado no estado fresco, já que dificultam a saída das bolhas de ar da argamassa. Dessa forma, Martins e Soares (2016), afirmam que quanto maior for o teor de ar incorporado pela mistura, menor será a sua massa específica, assim como sua resistência a compressão.

Siqueira (2006), observou que apesar dos valores próximos, nota-se uma tendência mais expressiva à diminuição da massa específica nas argamassas de cal quando foram adicionadas as fibras de polipropileno, polietileno tereftalato (PET) e curauá (fibra vegetal). Entretanto, quando foi adicionado um aditivo plastificante, na mistura, o efeito da incorporação de fibras, em relação a massa específica, não foi perceptível. O autor acredita que isso ocorreu devido à grande quantidade de ar incorporado pelo aditivo.

#### **2.6.1.4 Teor de ar incorporado**

A porosidade das argamassas, podem ser interpretados como sendo o ar aprisionado, incorporado, ou simples espaços originados após a evaporação do excesso da água. A incorporação de bolhas de ar na matriz cimentícia, pode ser decorrentes da utilização de aditivos incorporadores de ar ou, no caso das argamassas com adição de fibras, pelo aprisionamento de bolhas de ar que ficam presas entre as cerdas das fibras durante o processo de mistura. A NBR 13278 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005), normatiza o ensaio que deve ser realizado, afim de se obter o valor o teor de ar incorporado na mistura.

De acordo com Silva (2006), o aumento do teor de ar incorporado está relacionado com os contatos entre as fibras e entre as fibras e os agregados os quais diminuem o empacotamento das partículas.

O teor de ar está relacionado com a densidade de massa relativa da argamassa no estado fresco e endurecido; dessa forma, com o seu aumento, as argamassas são menos densas. Sua presença afeta na capacidade da argamassa se deformar, influencia diretamente na energia de lançamento e, por fim, nas propriedades mecânicas do revestimento. (SILVA, 2006)

Silva et al. (2003), compararam os valores de teor de ar incorporado das argamassas sem fibras e das argamassas com adição de 0,2% de fibras de polipropileno e observaram que a adição dessas fibra resultou em um aumento de 125% do teor de ar incorporado na mistura.

Este aumento no teor de ar incorporado também foi observado por Prado et al. (2015), de modo que a adição de 1,0% de fibras de papelão, aumentou o valor desta propriedade de 8% para 13%, o que representa um aumento de 62,5% em relação ao valor de referência.

Silva (2006), realizou uma pesquisa utilizando uma argamassa com baixo teor de ar incorporado (da ordem de 5%) e outra com alto teor (da ordem de 30%). Ela constatou que a adição de fibras influenciou na reologia das argamassas já que as fibras modificam as características da matriz original. Neste estudo, nos compósitos de argamassa com baixo teor de ar incorporado, o valor do teor de ar passou de 3%, para argamassas sem a adição de fibras, para 16%, em argamassas com 4,5 kg/m<sup>3</sup> de fibras de polipropileno, resultando em um aumento de 433%.

Ainda segundo Silva (2006), foi constatado que a adição das fibras, na argamassa com baixo teor de ar, elevou este teor de ar incorporado, enquanto que na com alto teor de ar, a adição de fibras reduziu esta propriedade.

Martins e Soares (2016), produziram 3 argamassas, sendo um de referência (A1), uma com adição de 1,8kg/m<sup>3</sup> de fibra de papel Kraft (A2) e uma com a mesma quantidade de fibras, porém com a introdução do aditivo Plastol MT 60 (A3), que possui propriedades para reduzir a quantidade de água de amassamento e diminuir a absorção de água da argamassa contendo fibra no estado endurecido. Os resultados obtidos revelaram um aumento de 142% do teor de ar incorporado, quando comparadas as argamassas A1 e A2, e um aumento de 314% em relação as argamassas A1 e A3. Elas afirmam que, o aumento superior ocorrido na argamassa A3 deve-se ao fato de que o Plastol MT 60 atua também como incorporador de ar na mistura. Dessa forma, além da fibra, essa argamassa também foi influenciada pela atuação do aditivo.

## **2.6.2 Propriedades de argamassas com adição de fibras no estado endurecido**

### **2.6.2.1 Resistência à compressão**

A resistência à compressão axial pode ser expressa pela resistência, de um material, ao rompimento, à uma redução de uma de suas dimensões ou a um aumento da seção transversal do material, quando o mesmo encontra-se sobre o efeito da aplicação de uma força de compressão axial atuando com o sentido dirigido para o interior da peça.

Segundo Siqueira (2006), apesar da resistência à compressão não ser uma propriedade de extrema importância para argamassas de revestimento, ela é um parâmetro fundamental para o projetista de revestimento. Cincotto et al. (1995), cit. por Siqueira (2006), afirma que as movimentações térmicas, causadas devido às oscilações da temperatura ambiente e à radiação solar incidente sobre os revestimentos externos, podem gerar esforços de compressão ou tração nas argamassas de revestimento, dependendo se esse movimento for de expansão ou retração, sendo assim, importante estudar estas propriedades em argamassas de revestimento.

Foi observado no trabalho de Prado et al. (2015), que a adição de 0,5% de fibras de celulose, provenientes de papelão, resultou em um aumento de resistência à compressão em relação à uma argamassa padrão. Entretanto nos traços com adição de 1,0%, 1,5% e 2,0%, houve tendência à diminuição da resistência à compressão.

Segundo o trabalho realizado por Martins e Soares (2016), nota-se a importância de um bom preparo da argamassa com adição de fibra, sendo observado neste trabalho que a má dispersão resultou em um acúmulo de fibras em determinadas regiões da argamassa, dessa forma, tornando esses locais menos resistentes, à compressão e à tração na flexão, com relação ao resto da seção preenchida pela matriz cimentícia.

Patrício e Barros (2005), cit. por Silva (2006), investigaram argamassas reforçadas com fibras de polipropileno, de comprimento de 5 milímetros e fração volumétrica de 0,1 a 1% em relação ao volume da argamassa. Eles obtiveram resultados 57% inferiores ao comparar a argamassa com adição de 1,0% da fibra em relação a argamassa de referência. Eles afirmam que o que deve ter contribuído com a redução da resistência à compressão, é a porosidade que as fibras conferem na argamassa devido ao maior incorporamento de teor de ar durante a mistura das argamassas.

Bauer e Cortez (2001), constataram em sua pesquisa que a adição de fibras de nylon, em teor de 3000g/m<sup>3</sup> e de polipropileno 1500g/m<sup>3</sup>, resultaram em um incremento de 11% e 10%, respectivamente, afirmando que estas adições pouco influenciaram na resistência à compressão de argamassas de revestimento.

Silva (2006), compara uma argamassa de referência com argamassas em que houveram a adição de 500g/m<sup>3</sup>, 1000g/m<sup>3</sup>, 1500g/m<sup>3</sup> e 2500g/m<sup>3</sup>. Em todos os casos as argamassa com adição apresentaram resistências inferiores a argamassa de referência, chegando a uma redução de 42% no caso da argamassa com teor de 1500g/m<sup>3</sup>, pior caso obtido. Entretanto, ao comparar os resultados das argamassas com 1500g/m<sup>3</sup> e 2500g/m<sup>3</sup>, não foi observada alteração entre os resultados de resistência à compressão entre as duas amostras. Silva propõe que isso ocorreu porque em argamassas com uma baixa densidade de massa endurecida da matriz, a adição de fibras não influencia na resistência à compressão.

#### **2.6.2.2 Resistência à tração na flexão**

A NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005), define o método de ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão, conforme a Figura 2.9. A resistência à tração na flexão pode ser representada como a resistência ao cisalhamento, de um material, quando o mesmo é submetido a uma ou mais cargas verticais ao longo de seu comprimento.



Figura 2.9 – Ensaio de determinação da resistência à tração na flexão.

No trabalho realizado por Oliveira (2001), pode-se constatar que a adição de fibras de polipropileno influenciou diretamente na redução da resistência à tração na flexão da argamassa, devido ao fato da adição das fibras resultarem em uma maior incorporação de ar provocando um aumento no índice de vazios. Entretanto a adição das fibras de polipropileno atuaram de forma favorável na forma de ruptura das argamassas reforçadas. Onde os mesmos passam a apresentar uma pequena deformação plástica até atingir a ruptura.

Martins e Soares (2016), afirmam que a perda de resistência à tração na flexão também ocorre devido a argamassa com fibra necessitar de mais água de amassamento para obter uma boa trabalhabilidade, sendo assim, parte dessa água ao evaporar, deixa vazios no interior da mistura.

Assim como foi observado nos resultados de ensaio de resistência à compressão, Prado et al. (2015), afirmam que o mesmo ocorreu em relação a resistência à tração na flexão. As fibras de celulose (papelão), quando adicionadas 0,5% na mistura, apresentaram um incremento da resistência à tração na flexão, enquanto que nos traços com adição de 1,0%, 1,5%, e 2,0%, foi observado uma redução desta propriedade. Desta forma, levando em consideração os resultados dos dois ensaios, eles concluíram que há uma proporção ótima de adição de fibra entre os percentuais 0% e 1,0%.

Ao comparar argamassas com adições de fibras de polipropileno em teores de 500g/m<sup>3</sup>, 1000g/m<sup>3</sup> e 1500g/m<sup>3</sup>, Tiscoski (2016), observou que, apesar de todos os traços com adição de fibras serem inferiores ao traço de referência, ao comparar os traços com adição de fibras de 500g/m<sup>3</sup> e 1000g/m<sup>3</sup>, o segundo apresentou resistências à tração na flexão e compressão superiores ao primeiro traço, acreditando que o aumento do teor de fibras entre os traços, resultou no aumento da resistência da argamassa.

Oliveira, Alves e Dias (2005), constataram que a adição de fibras recicláveis do tipo polietileno tereftalato (PET), aumentou a resistência à flexão da argamassa na ordem de 100% aos 7 dias de idade, 30 % aos 28 dias e da ordem de 50% aos 63 dias. Em seu estudo, eles concluem que o volume ótimo para a adição das fibras de PET é de 1,5%, garantindo o melhor desempenho da argamassa.

Ainda segundo Oliveira, Alves e Dias (2005), o teor de 1,5% de fibras de polietileno tereftalato (PET), atribuiu a argamassa um incremento em sua tenacidade, desta forma pode-se concluir que essa adição conferiu à argamassa um carácter de reforço com grande capacidade de absorção de energia.

### 2.6.2.3 Resistência de aderência à tração

A resistência de aderência é a capacidade que a interface substrato/argamassa possui de absorver tensões tangenciais (cisalhamento) e normais (tração) a ela, sem romper-se. De acordo com Rosello, cit. por Siqueira (2006), os revestimentos devem apresentar capacidade de deformação apropriada para que sejam capazes de se deformar, sem que haja o seu rompimento, ou para que ocorram, no máximo, microfissuras na argamassa, no caso de ocorrência de pequenos movimentos da alvenaria ou da estrutura, não afetando assim a aderência, estanqueidade e durabilidade do revestimento.

Segundo Mota (2006), a aderência é uma propriedade relevante para as argamassas, especificamente no que concerne ao desempenho e durabilidade do revestimento. Ele afirmar que a aderência do revestimento deve ser composta de dois fatores: resistência da argamassa e extensão de aderência entre o revestimento e o substrato.

A aderência entre revestimento/substrato está relacionada com a ancoragem mecânica da argamassa aos poros irregulares do substrato, conforme representado pela Figura 2.10.

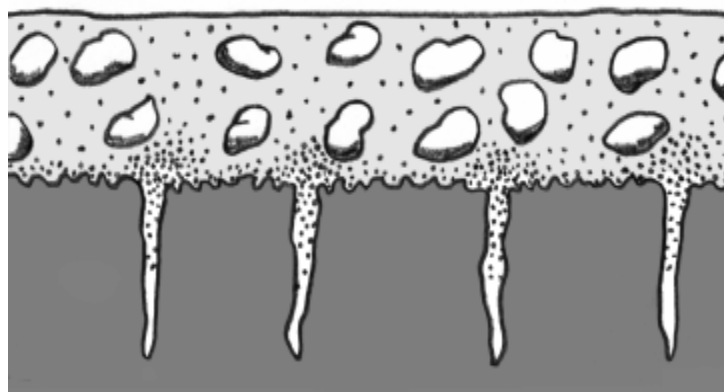


Figura 2.10 – Adesão adequada entre o revestimento e o substrato. (Szlak et al., 2002, p.8)

A aderência da argamassa endurecida ao substrato é um fenômeno essencialmente mecânico, causado pela penetração da pasta aglomerante ou da própria argamassa nos poros ou entre a rugosidade da base de aplicação. O que ocorre é que parte da água de amassamento, que possui em dissolução ou estado coloidal os componentes do aglomerante, adentra pelos poros e cavidades do substrato. Com o passar do tempo,

esses precipitados intracapilares (géis de silicato ou hidróxido de cálcio da cal) exercem ação de ancoragem da argamassa à base. (CARASEK, 1996 cit. por SIQUEIRA, 2006).

Carasek (1996), cit. por Siqueira (2006), afirma, em sua pesquisa que, para argamassas de revestimento, a relação água/cimento é inversamente proporcional à resistência de aderência. Dessa forma, Siqueira atribui os baixos resultados de resistência de aderência à tração, de suas argamassa modificas com fibras de polietileno tereftalato (PET), a altas relações água/aglomerante utilizadas em suas misturas.

Siqueira (2006), compara os resultados de resistência de aderência à tração, à 28 dias, em argamassas, de referência, com aditivo e fibra de curauá (fibra vegetal) e com cal e fibra de curauá. Os resultados obtidos, para as argamassas de referências e as argamassas com aditivo e fibra, encontraram-se abaixo do que é exigido pela NBR 13749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013) “Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Especificação”, que expressa o requisito mínimo de resistência para 28 dias de idade superior a 0,3 MPa. Entretanto, ele observa que as argamassas que possuíam em sua composição cal e fibra, satisfizeram esta norma. Dessa forma acredita-se que o aditivo agiu de forma negativa nas propriedades de aderência desta argamassa.

Os resultados obtidos por Martins e Soares (2016), demonstraram que a adição de fibras de papel Kraft resultou em um impacto negativo na resistência de aderência à tração quando comparado com um argamassa de referência. Elas supõem que a má dispersão das fibras foi o que causou os resultados insatisfatórios.

Martins e Soares (2016), compararam também os tipos de ruptura entre argamassas com fibras e argamassas com fibras e aditivos. Nas argamassas com fibras foi observado rupturas predominantemente na argamassa. Já nas argamassas com fibras e aditivos, a ruptura, causado pela elevada incorporação de ar pelo aditivo, ocorreu na interface entre o revestimento e a superfície de aplicação, resultando assim em uma baixa resistência de aderência a tração.

Tiscoski (2016), constatou que, apesar de nenhum resultado ser superior ao mínimo estabelecido por norma, a adição de fibras de polipropileno proporcionou uma elevação considerável da resistência à aderência na argamassa. Ao comparar a argamassa de revestimento com a argamassa com adição de fibras de polipropileno, pode-se observar um resultado 100% superior para a argamassa com incorporação das fibras.

Prado et al. (2015), realizaram ensaios de resistência de aderência à tração em argamassas com adição de fibras de celulose em diferentes proporções. Mesmo obtendo resultados inferiores ao se comparar com argamassa padrão, as argamassas com adição de 0,5% de fibra apresentaram valores superiores ao mínimo estabelecido pela NBR 13528 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010).

## 2.7 INTERAÇÃO FIBRA MATRIZ

De acordo com Peruzzi (2002), quando uma carga de tração é aplicada sobre um material, que possui fibras em sua composição, ocorre uma tensão de cisalhamento na interface fibra matriz. Esta tensão faz a distribuição da ação externa entre a fibra e a matriz desde que elas tenham módulos de elasticidade diferentes, mas as deformações destes dois componentes permanecem as mesmas.

O aparecimento da primeira fissura e a sua abertura progressiva em compósitos sem fibras leva ao colapso da peça. Porém, nos compósitos reforçados com fibras a fratura é um processo progressivo, onde as pontes de transferência oferecidas pelas mesmas, promovem a múltipla fissuração. Nestes compósitos a fratura é decorrente de um processo heterogêneo de progressivo descolamento e arrancamento das fibras. (SWAMY, 1995, cit. por OLIVEIRA, 2001).

Martins e Soares (2016), afirmam que a ação da fibra incorporada à argamassa se dá pela transferência dos esforços impostos à matriz cimentícia para a fibra, quando uma tensão de tração aplicada na argamassa é superior àquela suportada pela mesma, há a transferência desse esforço para a fibra, que se deformam sobre efeito o da carga aplicada. Conforme a carga for aumentando, as fibras continuarão a se deformar, transferindo parte da carga suportada para as porções da matriz ainda sem fissuras. Por fim a ruína do compósito se dará quando as fibras romperem-se ou quando as fibras escorregarem da matriz e se soltarem, dessa maneira, quanto mais aderida a fibra estiver à argamassa, melhor será essa transferência e portanto, mais eficiente será esse reforço. (AGOPYAN, 1988, cit. por OLIVEIRA, 2001).

Segundo Balaguru e Shah (1992), cit. por Peruzzi (2002), os principais parâmetros que afetam a interação fibra matriz são:

- Geometria da fibra;
- Tipo de fibra incorporada;
- Características da superfície da fibra;
- Rigidez da fibra em comparação a da matriz;
- Orientação das fibras (alinhadas ou distribuídas aleatoriamente);
- Quantidade de fibras adicionadas.





## CAPÍTULO 3

### CAMPANHA EXPERIMENTAL

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS

O subcapítulo a seguir irá apresentar as características de todos os materiais utilizados na produção das argamassas neste estudo. Os materiais constituintes das argamassas são as fibras de vidro, fibras de polipropileno, aglomerante hidráulico (cimento) e a areia.

##### 3.1.1 Fibras de vidro

De acordo com o fornecedor português, VimaCRACK, as fibras de vidro (Figura 3.1) utilizadas nesse trabalho possuem suas características expressas na Tabela 3.1.



Figura 3.1 – Fibras de vidro.

Tabela 3.1 – Características da fibra de vidro. (Adaptado de VimaCRACK Fibras cortadas em fibras de vidro)

CARACTERÍSTICAS DA FIBRA DE VIDRO	
Dimensão das fibras	12 milímetros
Diâmetro das fibras	14 microns
Módulo de elasticidade	72.000 N/mm <sup>2</sup>
Densidade	2,68 gr/cm <sup>3</sup>

### 3.1.2 Fibras de polipropileno

As fibras de polipropileno (Figura 3.2) incorporadas nas argamassas deste estudo possuem, segundo o fornecedor português VimaFIBER, as características apresentadas na Tabela 3.2.



Figura 3.2 – Fibras de polipropileno.

Tabela 3.2 – Características da fibra de polipropileno. (Adaptado de VimaFIBER Fibras cortadas em polipropileno)

CARACTERÍSTICAS DA FIBRA DE POLIPROPILENO	
Dimensão das fibras	12 milímetros
Diâmetro das fibras	17 - 20 microns
Módulo de elasticidade	570 N/mm <sup>2</sup>
Resistência à tração	240 N/mm <sup>2</sup>

### 3.1.3 Aglomerante hidráulico

Na confecção das argamassas, o aglomerante hidráulico utilizado em todos os ensaios foi o cimento Portland CP II – E 32 do fabricante LafargeHolcim. Este cimento possui em sua composição de 6 a 10% de material de escoria de alto forno (E) e confere nominalmente aos 28 dias, uma resistência à compressão axial mínima de 32 MPa. De acordo com o fabricante, o cimento utilizado corresponde as exigências químicas, físicas e mecânicas especificadas na NBR 5735 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1991).

### 3.1.4 Composição granulométrica e módulo de finura da areia

De acordo com a NBR NM 248 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2003), para a determinação da composição granulométrica de um tipo de areia são ensaiadas duas amostras do material. As amostras foram secas em estufa a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 24 h e posteriormente foram resfriadas a temperatura ambiente. Após a determinação das massas, as amostras foram submetidas ao peneiramento para obtenção de sua composição granulométrica, módulo de finura e diâmetro máximo dos grãos conforme a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Composição granulométrica da areia.

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA AREIA						
Abertura das peneiras (mm)	Parcelas retidas em cada peneira (g)		Porcentagens individuais (%) retidas			Porcentagens retidas acumuladas (%)
	1° determ.	2° determ.	1° determ.	2° determ.	Média	
9,5	0	0	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0	0	0
4,75	0	0	0	0	0	0
2,36	2,8	1,8	0,56	0,36	0	0
1,18	2,8	3,1	0,56	0,62	0	0
0,600	140,1	149,1	28,07	29,86	29	29
0,300	258,8	256,3	51,85	51,33	52	81
0,150	69,6	65,7	13,95	13,16	14	95
Fundo <0,150	25,0	23,3	5,01	4,67	5	100
Dimensão máxima do agregado (D <sub>máx</sub> ) =						1,18 mm
Módulo de finura (MF) =						2,05

Finalizado o ensaio de determinação de composição granulométrica da areia, foi plotado em um gráfico a sua curva granulométrica afim de determinar a graduação da areia através do coeficiente de curvatura (Cc) da curva granulométrica. O Cc pode ser expresso através da Equação 3.1:

$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{10} * D_{60}} \quad (3.1)$$

Sendo:

Cc – coeficiente de curvatura;

$D_{10}$  – é o diâmetro correspondente a 10% em peso total de todas as partículas menores que ele;

$D_{30}$  – é o diâmetro correspondente a 30% em peso total de todas as partículas menores que ele;

$D_{60}$  – é o diâmetro correspondente a 60% em peso total de todas as partículas menores que ele.

Os valores de  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  e  $D_{60}$ , foram calculados através da projeção linear dos valores de logaritmo correspondentes as porcentagens mais próximas de 10%, 30% e 60%, conforme observado na Figura 3.3.

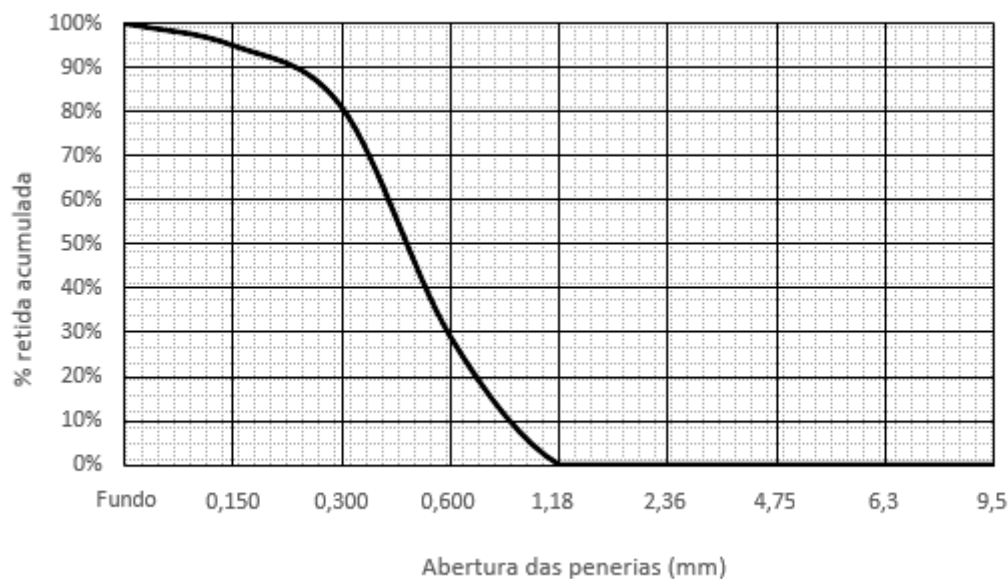


Figura 3.3 – Curva granulométrica da areia.

$$Cc = \frac{(-0,455)^2}{(-0,709) * (-0,280)} = 1,04 \quad (3.1)$$

Utilizando a Equação 3.1, chegou-se ao resultado para o coeficiente de curvatura ( $C_c$ ) de 1,04. Um material pode ser considerado bem graduado, isto é, possuir boa variedade de diâmetros entre os grãos, se o  $C_c$  estiver entre os valores de  $3 > C_c > 1$ , como é o caso observado nesta dissertação.

### 3.2 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS ENSAIADOS

Para a realização dos ensaios foram definidos 5 tipos de composições diferentes de argamassa, sendo um traço de referência, definido para efeitos de comparação de ordens de grandeza, dois traços para argamassas modificadas com fibras de vidro e mais dois traços de argamassa com adição de fibras de polipropileno. As massas em porcentagem das fibras foram adicionados em relação a massa de cimento utilizada. Para cada traço foram produzidos 6 corpos-de-prova resultando em um total de 30 corpos-de-prova ensaiados. A Tabela 3.4 apresenta os 5 diferentes tipos de traços.

Tabela 3.4 – Traços das argamassas.

TRAÇOS DAS ARGAMASSAS					
	Cimento	Areia	Relação água/cimento	Fibra de vidro	Fibra de polipropileno
Traço referência	1	3	0,59		
Traço vidro 1,0%	1	3	0,59	1,0%	
Traço vidro 2,0%	1	3	0,59	2,0%	
Traço poli. 1,0%	1	3	0,59		1,0%
Traço poli. 1,5%	1	3	0,59		1,5%

A proporção de 1:3 (cimento : areia) foi retirada da NBR 7215 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996). A norma especifica uma relação de água/cimento de 0,48, porém foi fixado uma relação água/cimento de 0,59 para todos os traços utilizados baseado em uma mistura com adequada consistência para a moldagem dos corpos-de-prova apresentado pelo traço com adição de 2,0% de fibras de vidro.

### 3.3 PRODUÇÃO DOS TRAÇOS DE ARGAMASSA

Neste trabalho todos os traços de argamassa foram produzidos utilizando um misturador mecânico. O traço 1, que corresponde às argamassas de referência, foi preparado conforme a NBR 7215 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1996), que tem sua sequência descrita a seguir:

a) pesar todos os materiais a serem utilizados;

- b) colocar toda a quantidade de água no recipiente do misturador, adicionar o cimento e misturar a velocidade baixa por 30 segundos;
- c) adicionar a areia de maneira gradual sem a paralisação do misturador dentro de um período de 30 segundos;
- d) após o término da colocação da areia, mudar a velocidade do misturador para rápida e misturar os materiais por 30 segundos;
- e) desligar o equipamento durante 1 minuto e meio;
- f) raspar a superfície interna do recipiente e da pá durante 15 segundos. Durante os próximos 1 minuto e 15 segundos, a argamassa deve ficar em repouso;
- g) após o término do tempo, ligar o equipamento e misturar por mais 1 minuto em velocidade alta.

Para os traços em que houve a incorporação de fibras seguiu-se a mesma sequência, porém as fibras de vidro e polipropileno foram previamente misturadas ao cimento em um saco plástico para garantir a homogeneidade da mistura.

Após o término de produção de cada traço de argamassa, foi realizado o ensaio de determinação do índice de consistência. Ao final do ensaio de índice de consistência, foi realizado ainda o ensaio de determinação de massa fresca e posteriormente foram moldados corpos-de-prova para cada traço de argamassa para a realização dos ensaios dos itens 3.5 e 3.6.

### **3.4 MOLDES DOS ENSAIOS**

Segundo a NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005) para a realização de ensaios de determinação de resistência à tração na flexão, devem ser utilizados moldes prismáticos de 4 centímetros x 4 centímetros x 16 centímetros, conforme a Figura 3.4. Cada molde prismático é capaz de servir de molde para 3 corpos-de-prova de argamassa, o que foi seguido nesta pesquisa.



Figura 3.4 – Moldes para determinação de resistência à tração na flexão.

Para realizar os ensaios de determinação de resistência à compressão, foram utilizadas uma das metades de cada um dos 30 corpos-de-prova prismáticos previamente rompidos no ensaio de determinação de resistência à tração na flexão (Figura 3.5), de acordo com a NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005).



Figura 3.5 – Corpo-de-prova proveniente do ensaio de tração à flexão utilizados no ensaio de determinação de resistência à compressão e absorção de água por imersão.

Os ensaios de absorção de água por imersão, segundo a NBR 9778 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987), assim como no ensaio de resistência à compressão, foram realizados utilizando a outra metade dos corpos-de-prova rompidos nos ensaios de resistência à tração na flexão.

Para o ensaio de determinação da resistência de aderência à tração, os traços de argamassa foram aplicados manualmente sobre placas de concreto divididas em 5 áreas previamente umedecidas e após a aplicação, as superfícies das composições de argamassa foram regularizadas conforme a Figura 3.6.

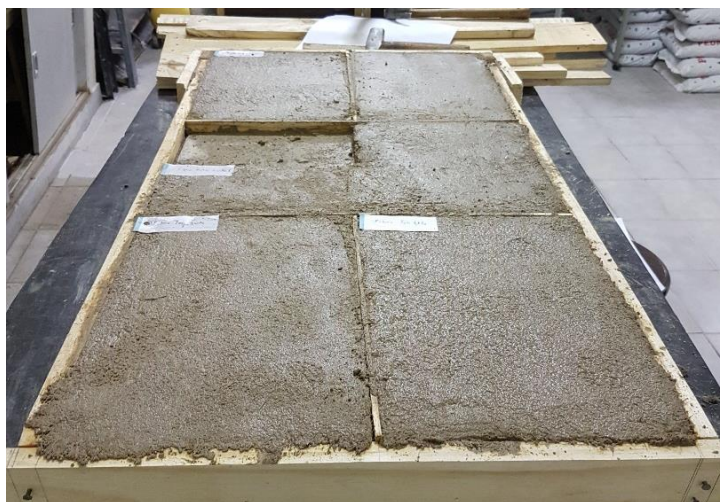


Figura 3.6 – Molde para ensaio de determinação de aderência à tração.

Uma semana após a moldagem, os corpos-de-prova prismáticos foram desmoldados e colocados em câmara úmida de acordo com a NBR 9479 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005), que define as condições de câmaras úmidas para ensaios de corpos-de-prova de argamassa, onde ficaram armazenados até próximo as datas de ensaios.

### **3.5 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO**

O presente subcapítulo apresenta os ensaios realizados na argamassa ainda em seu estado fresco, assim como a definição de cada ensaio e a forma de realização dos mesmos. Os ensaios abrangidos neste subcapítulo foram os de determinação do índice de consistência e determinação da densidade de massa fresca.

#### **3.5.1 Determinação do índice de consistência**

O ensaio de determinação do índice de consistência de argamassa, normatizado pela NBR 13276 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2002), é realizado com o objetivo de determinar a trabalhabilidade da argamassa.

O ensaio consiste na moldagem de um tronco de cone (Figura 3.7) sobre uma mesa de espalhamento, preenchendo-o com argamassa em 3 camadas de aproximadamente mesma altura, sendo essas camadas



assentadas com 15, 10 e 5 golpes de um soquete, respectivamente, para garantir a distribuição da argamassa no molde. Após o preenchimento do tronco de cone o mesmo deve ser arrasado em sua parte superior utilizando uma régua metálica.



Figura 3.7 – Molde de tronco de cone sobre mesa de espalhamento.

O ensaio prossegue com a remoção do molde de tronco de cone e acionamento da manivela da mesa de espalhamento de forma que ocorram 30 quedas padronizadas em um intervalo de 30 segundos (Figura 3.8).



Figura 3.8 – Espalhamento do tronco de cone.

O índice de consistência da argamassa é obtido calculando-se a média de três medidas de diâmetro uniformemente distribuídos ao longo do perímetro do espalhamento do tronco de cone (Figura 3.9).

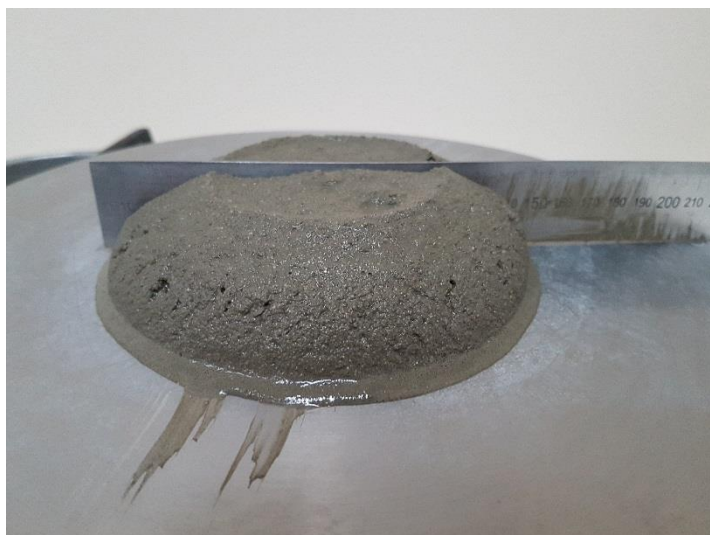


Figura 3.9 – Medição do espalhamento do tronco de cone.

### 3.5.2 Determinação da densidade de massa fresca

O ensaio de determinação da densidade de massa fresca é normatizado pela NBR 13278 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005). O ensaio é realizado obtendo-se a massa de um Becker de vidro vazio. Após isso o Becker é preenchendo com 1800 milímetros cúbicos dos traços de argamassa, para ser determinada a massa do conjunto Becker e argamassa conforme a Figura 3.10.



Figura 3.10 – Becker de vidro preenchido com 1800 milímetros cúbicos do Traço 1.

Com os valores de massa de cada traço, são determinadas as densidades de massa de cada um dos 5 traços através da Equação 3.2, a seguir:

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.2)$$

Sendo:

D – é a densidade de massa, em grama por centímetro cúbico;

$m_1$  – é a massa do recipiente vazio, em gramas;

$m_2$  – é a massa do conjunto recipiente e amostra compactada, em gramas;

V – é o volume do recipiente, em centímetro cúbico.

### 3.6 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

O subcapítulo a seguir apresenta os ensaios realizados na argamassa em seu estado endurecido após o período de cura em câmara úmida. São descritas a definição de cada ensaio e a forma de realização dos mesmos. Os ensaios abrangidos neste subcapítulo foram os de determinação da resistência à tração na flexão, resistência à compressão, resistência de aderência à tração e determinação do índice de absorção de água por imersão.

#### 3.6.1 Determinação da resistência à tração na flexão

A NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005) define o método de ensaio para a determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos.

Os corpos de prova são posicionados sobre a prensa (Figura 3.11) que possui dois suportes de aço, com superfícies em forma de roletes, distanciados 120 milímetros entre si. O equipamento de carga possui também um terceiro rolete de aço que é localizado de forma centralizada entre os outros dois suportes de aço.



Figura 3.11 – Posicionamento do corpo-de-prova sobre os suportes de aço da prensa.

O ensaio consiste na aplicação de carga vertical através do rolete central, sobre as argamassas, até que haja o rompimento do corpo-de-prova (Figura 3.12) determinando a carga de ruptura aplicada no centro do prisma.



Figura 3.12 – Rompimento do corpo-de-prova prismático com adição de fibras de polipropileno.

A resistência à tração na flexão dos prismas pode ser expressa através da Equação 3.3:

$$Rf = \frac{1,5 * (P * L)}{(b * h^2)} \quad (3.3)$$

Sendo:

Rf – é a resistência à tração na flexão em Megapascals;

P – é a carga de ruptura aplicada verticalmente no centro do prisma, em Newtons;

L – é a distância entre os suportes, em milímetros;

b – é a largura da base do prisma, em milímetros;

h – é a altura da base do prisma, em milímetros.

Após a determinação da resistência à tração na flexão, a NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005) estipula que seja calculada uma resistência média dos módulos para cada 3 corpos-de-prova de mesmo traço e a mesma idade de ensaio. A norma também exige que seja calculada o desvio relativo máximo (DRM) para que sejam descartados os resultados que forem muito discrepantes dos demais, situações em que o DRM for superior a 0,3 Megapascals. O DRM é calculado pela Equação 3.4, a seguir:

$$Drm = \frac{(X - Xi) * 100}{X} < 0,3 \text{ MPa} \quad (3.4)$$

Sendo:

Drm – é o desvio relativo máximo, em porcentagem;

X – é o módulo de ruptura médio, em Megapascals;

Xi – é o módulo de ruptura individual que mais se distâcia do módulo de ruptura médio, em Megapascals.

### 3.6.2 Determinação da resistência à compressão

Para a determinação dos módulos de ruptura à compressão de corpos-de-prova de argamassa, utiliza-se a NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005), que consiste na utilização das metades dos corpos-de-prova provenientes do ensaio de resistência à tração na flexão.

O ensaio consiste no posicionamento do corpo-de-prova de argamassa sobre a prensa conforme a Figura 3.13. Após o devido posicionamento é aplicada um carregamento, com carga constante, sobre a argamassa até que haja o rompimento obtendo-se assim o valor de módulo de ruptura individual para os corpos-de-prova de cada traço.

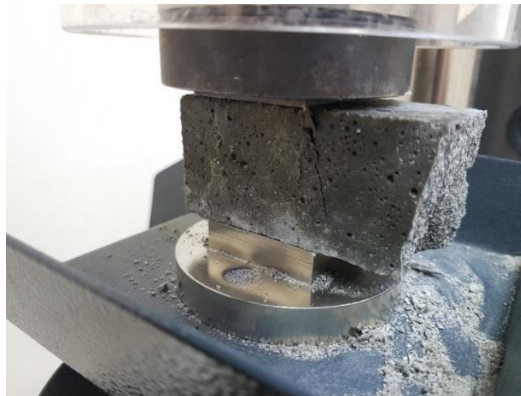


Figura 3.13 – Corpo-de-prova rompido após ensaio de determinação de resistência à compressão.

A resistência à compressão dos corpos-de-prova pode ser expressa através da Equação 3.5:

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (3.5)$$

Sendo:

Rc – é a resistência à compressão, em Megapascals;

Fc – é a carga máxima aplicada, em Newtons;

1600 é a área da seção considerada quadrada do dispositivo de carga, 40 milímetros por 40 milímetros, em milímetros quadrados.

Assim como no ensaio de resistência à tração na flexão, neste ensaio, é também exigido que se calcule uma média das resistência à compressão para as 3 metades dos corpos-de-prova prismáticos, rompidos no ensaio de flexão, de mesmo traço e a mesma idade de ensaio. Da mesma forma também deve ser calculado o desvio relativo máximo (Equação 3.4), entretanto o limite para que os resultados individuais que forem muito discrepantes dos demais sejam descartados é de valores superiores a 0,5 Megapascals.

### 3.6.3 Determinação da resistência de aderência à tração

A NBR 13528 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010) determina, que para a realização do ensaio de resistência de aderência à tração, sejam feitos 6 cortes circulares sobre argamassa de revestimento, utilizando um equipamento de corte (serra copo) de 50 milímetros de diâmetro. Esses cortes delimitam os pontos de arrancamento dos corpos-de-prova que serão ensaiados e as disposições desses cortes sobre a placa de concreto que devem ser espaçados entre si e das quina em no mínimo 50 milímetros.

Para a realização do ensaio, são coladas, utilizando cola a base de resina epóxi, pastilhas de alumínio sobre os pontos de arrancamento delimitados, conforme a Figura 3.14.



Figura 3.14 – Pastilhas coladas sobre revestimento de argamassa.

Utilizando um dinamômetro de tração (Figura 3.15), é aplicado o esforço de tração perpendicularmente as pastilhas de alumínio até que haja a ruptura.



Figura 3.15 – Dinamômetro de tração posicionado sobre a pastilha de alumínio.

Ao final do ensaio, o dinamômetro fornece a carga de ruptura para cada corpo-de-prova e após isso são realizadas medições, em duas direções diferentes, dos diâmetros de cada um dos 30 corpos-de-prova (CPs) ensaiados e posteriormente é calculado um diâmetro médio para cada um dos CPs.

A tensão de ruptura pode ser expressa através da Equação 3.6:

$$R_a = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

Sendo:

R<sub>a</sub> – é a tensão de ruptura dos corpos-de-prova, em Megapascals;

F – é a carga de ruptura dos corpos-de-prova, em Newtons;

A – é a área superficial dos corpos-de-prova, em milímetros quadrados.

Após a finalização do ensaio, são analisadas as formas de ruptura de cada um dos corpos-de-prova. As diferentes formas de ruptura para argamassas de revestimento sem chapisco referente ao ensaio de determinação de resistência de aderência à tração estão representadas na Figura 3.16.



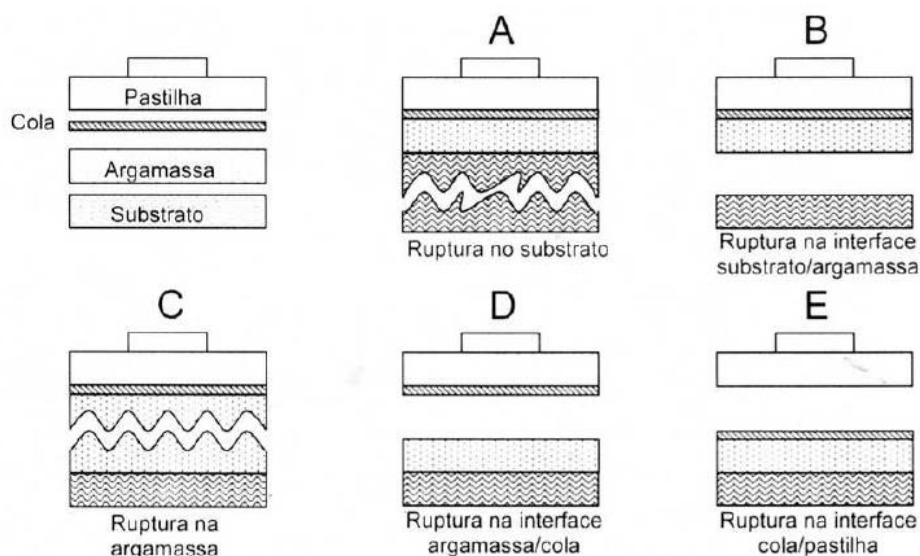


Figura 3.16 – Formas de ruptura no ensaio de resistência de aderência à tração para um sistema de revestimento sem chapisco. (NBR 13528 Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010)

### 3.6.4 Determinação de absorção da água por imersão

Para determinar a capacidade de absorção de água por imersão dos traços, foram utilizados 3 metades de corpos-de-prova já rompidos provenientes do ensaio de resistência à tração na flexão.

Os corpos-de-prova rompidos foram armazenados em uma estufa, conforme a Figura 3.17, a 105 °C e foram mantidos durante 24 horas para que fossem secados. Depois das 24 horas foram determinadas as massas secas de todos os corpos-de-prova.



Figura 3.17 – Corpos-de-prova armazenados na estufa.



Depois da pesagem, os corpos-de-prova foram colocados em um recipiente contendo água e foram mantidos submersos por mais 24 horas, conforme Figura 3.18. Por fim passadas as 24 horas, foram determinadas as massas úmidas de todos os corpos-de-prova.



Figura 3.18 – Corpos-de-prova submersos em recipiente contendo água.

Finalizadas todas as determinações de massa, é calculado o índice de absorção de água por imersão que pode ser expresso, segundo a NBR 9778 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1987), através da Equação 3.7:

$$AA = \frac{M_{sat} - M_s}{M_s} * 100 \quad (3.7)$$

Sendo:

AA – é o índice de absorção de água, em porcentagem;

Msat – é a massa do corpo-de-prova saturado, em gramas;

Ms – é a massa do corpo-de-prova seco em estufa, em gramas.

Por fim são calculadas as médias dos índices de absorção de água, utilizando 3 corpos-de-prova para cada traço ensaiado.



## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO FRESCO

Os subcapítulos a seguir irão apresentar os resultados obtidos para os ensaios das argamassas no estado fresco. Foram realizados os ensaios de, determinação do índice de consistência e determinação da densidade de massa fresca em argamassas de referência e em argamassas com a incorporação de fibras de vidro e polipropileno.

##### 4.1.1 Determinação do índice de consistência

Os valores dos índices de consistência médios obtidos nos traços estudados estão apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Determinação do índice de consistência.

DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA				
Traços ensaiados	1° medição (mm)	2° medição (mm)	3° medição (mm)	Média (mm)
Traço referência	190,0	190,0	187,0	189
Traço vidro 1,0%	172,2	174,4	180,5	176
Traço vidro 2,0%	175,0	171,0	175,0	174
Traço poli. 1,0%	150,0	154,0	152,0	152
Traço poli. 1,5%	146,0	146,0	145,0	146

Analisando a Figura 4.1, que compara os índices de consistência média do traço de referência com os traços de vidros, ficou evidente que com o aumento do percentual de fibras de vidro incorporadas na argamassa, o índice de consistência tendeu a diminuir.

A diminuição observada é resultado do aumento da área de superfície dos materiais constituintes da argamassa fazendo com que seja consumida maior quantidade de água para hidratação de toda a mistura. (PRADO et al., 2015)

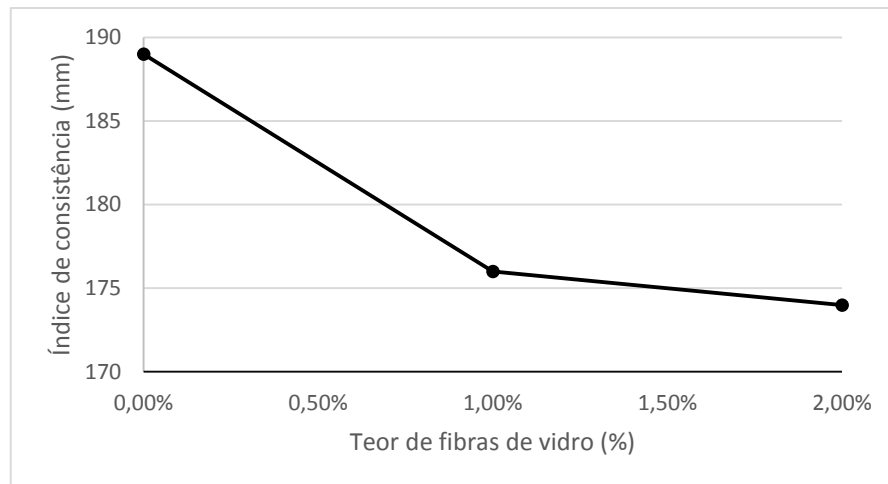


Figura 4.1 – Gráfico de comparação do índice de consistência entre o traço de referência e os traços com adições de fibras de vidro.

O fato observado na Figura 4.1 fica mais evidente quando se é comparada a argamassa de referência com as argamassas que sofreram adições de fibras de polipropileno conforme a Figura 4.2. Este fato pode ser explicado por uma maior capacidade das fibras de polipropileno absorverem em sua superfície uma elevada quantidade de água, diminuindo a água livre na mistura, reduzindo-se assim, a sua consistência.

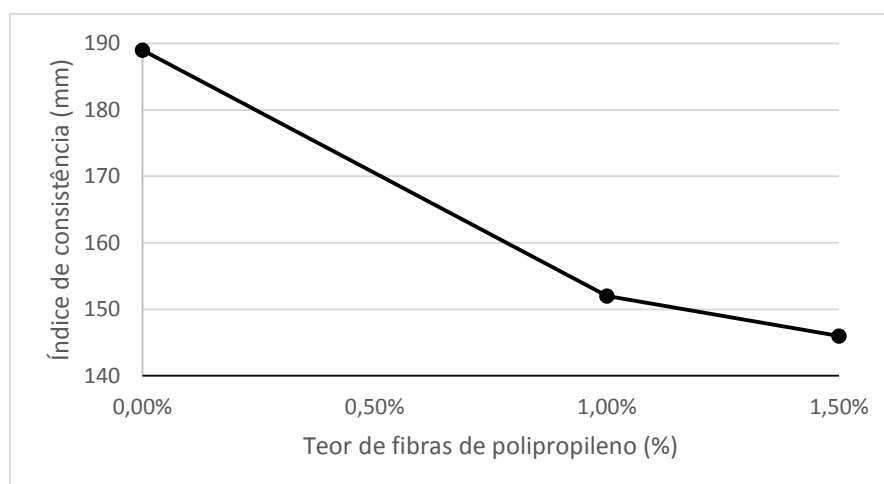


Figura 4.2 – Gráfico de comparação do índice de consistência entre o traço de referência e os traços com adições de fibras de polipropileno.

Outra possível explicação para a baixa fluidez apresentada pelas argamassas com fibras de polipropileno é dada pelo autor Pelisser (2002), que diz que as fibras de polipropileno têm dificuldade em se dispersar no compósito, agrupando-se em chumaços, o que aprisionaria parte da água da mistura e explicaria a diminuição da consistência das argamassas com adições.

#### 4.1.2 Determinação da densidade de massa fresca

Com os valores de massa de cada traço, a massa do recipiente vazio e o volume do recipiente preenchido pela mistura de argamassas, são determinadas as densidades de massa de cada um dos 5 traços. Os resultados obtidos foram transcritos para a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Determinação da densidade de massa.

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MASSA				
Traços ensaiados	Massa do recipiente preenchido (g)	Massa do recipiente vazio (g)	Volume do recipiente preenchido (cm <sup>3</sup> )	Densidade de massa (g/cm <sup>3</sup> )
Traço referência	3873,0	476,0	1800	1,89
Traço vidro 1,0%	3841,4	476,0	1800	1,87
Traço vidro 2,0%	3918,4	476,0	1800	1,91
Traço poli. 1,0%	3966,4	476,0	1800	1,94
Traço poli. 1,5%	3811,1	476,0	1800	1,85

Os resultados da densidade de massa das argamassas mistas, apresentados na Tabela 4.2, demonstram que a adição de fibras provocou pouca alteração quando comparados com o traço de referência. Além disso, a aleatoriedade dos resultados, onde houve situações em que ocorreu um aumentando e em outros houve a diminuição da densidade de massa, impossibilitou uma conclusão para o ensaio.

## 4.2 ENSAIOS DA ARGAMASSA NO ESTADO ENDURECIDO

Os subcapítulos a seguir irão expor os resultados alcançados para os ensaios das argamassas no estado endurecido. Foram realizados os ensaios de determinação da resistência à tração na flexão, resistência à compressão, resistência de aderência à tração e de absorção de água por imersão, em argamassas de referência e em argamassas com a incorporação de fibras de vidro e polipropileno.

#### 4.2.1 Determinação da resistência à tração na flexão

Neste trabalho foram moldados 6 corpos-de-prova prismáticos, para cada traço, para serem ensaiados 3 aos 14 dias e os outros 3 aos 28 dias de idade conforme descreve a NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005). As médias dos módulos de ruptura dos ensaios realizados aos 14 dias de idade foram transcritas para a Tabelas 4.3. Nos anexos I e II encontram-se os resultados individuais de resistência à tração na flexão dos traços ensaiados.

Tabela 4.3 – Média de resistência à tração na flexão aos 14 dias.

MÉDIA DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 14 DIAS		
Traços ensaiados	Média dos módulos de ruptura (MPa)	Desvio Relativo Máximo (MPa)
Traço referência	4,21	0,02
Traço vidro 1,0%	4,17	0,02
Traço vidro 2,0%	4,19	0,01
Traço poli. 1,0%	4,18	0
Traço poli. 1,5%	4,20	0,02

De acordo com a NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005), nota-se que nenhuma das médias dos 5 traços precisou ser recalculada já que o desvio relativo máximo (DRM) não ultrapassou o valor de 0,3 MPa. A Figura 4.3 apresenta uma comparação gráfica dos resultados das médias dos módulos de ruptura de todos os traços ensaiados aos 14 dias.

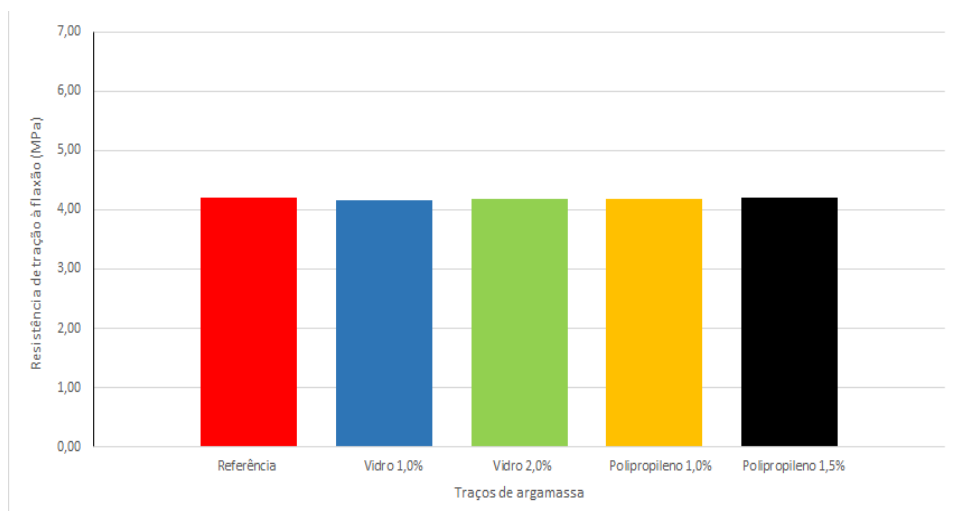


Figura 4.3 – Gráfico de médias de resistência de tração à flexão das argamassas aos 14 dias.

Analisando a Tabela 4.3 e o gráfico acima nota-se que a incorporação dos dois tipos de fibras não alterou de forma significativa a resistência de tração à flexão da argamassa, de forma que os resultados de todos os traços ensaiados, aos 14 dias, não variam entre si.

A Tabela 4.4 apresenta a média dos módulos de ruptura para a idade do ensaio de 28 dias, assim como seus respectivos desvios relativos máximo.

Tabela 4.4 – Média de resistência à tração na flexão aos 28 dias.

MÉDIA DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO AOS 28 DIAS		
Traços ensaiados	Média dos módulos de ruptura (MPa)	Desvio Relativo Máximo (MPa)
Traço referência	5,88	0,03
Traço vidro 1,0%	5,21	0,03
Traço vidro 2,0%	5,23	0,08
Traço poli. 1,0%	5,19	0,04
Traço poli. 1,5%	5,45	0,06

Assim como na Tabela 4.3, nenhum dos desvios relativos máximo (DRM) apresentou resultado superior a 0,3 MPa de forma que não foi necessário recalculer as médias dos módulos de ruptura. A Figura 4.4 apresenta uma comparação gráfica dos resultados das médias dos módulos de ruptura com idade de 28 dias dos traços estudados.

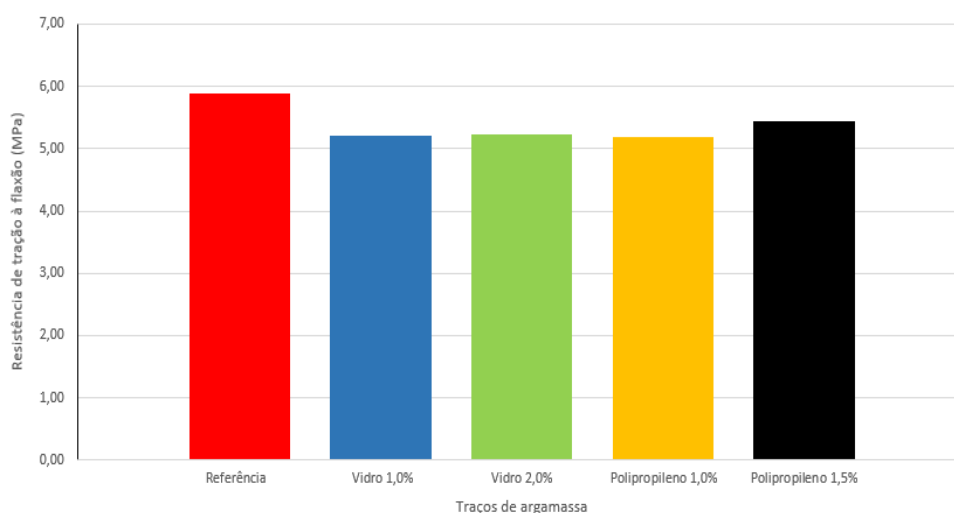


Figura 4.4 – Gráfico de médias de resistência de tração à flexão das argamassas aos 28 dias.

Siqueira (2006), acreditava que a incorporação de fibras em matrizes cimentícias iria obstruir a propagação de microfissuras, retardando, assim, o aparecimento de fissuras de tração e aumentando a resistência à tração do material. Entretanto assim como no estudo de Siqueira, esta pesquisa obteve resultados de resistência de tração à flexão, para o traço de referência, que variavam de 5,00% a 13,29% superiores quando comparados aos traços modificados com fibras, apresentando assim uma perda de desempenho quando utilizadas as fibras.

Analisando individualmente os traços de vidro 1,0% e o traço vidro 2,0%, nota-se que houve um pequeno acréscimo, de forma não significativa na resistência de tração à flexão. Entretanto, este acréscimo fica mais evidente quando são comparados os traços em que houve a adição de fibras de polipropileno, podendo-se observar que o aumento de 0,5% dessa fibra entre os traços, resultou em um acréscimo de 5,00% na resistência de tração à flexão do traço com 1,5% de adição de fibras. Este resultado aumenta as possibilidades de que essas fibras podem possuir características que melhoram a resistência à tração na flexão.

Pode-se observar que as fibras de polipropileno proporcionaram aos corpos-de-prova uma melhora quando da forma de ruptura dos corpos-de-prova, que apresentaram uma deformação plástica até chegar a ruptura. Esta propriedade também foi observada por Oliveira (2001), onde a explicação para este tipo de comportamento é creditada ao possível aumento da absorção de energia ocasionada pela alta capacidade de alongamento das fibras de polipropileno e pelo seu comprimento de ancoragem. A Figura 4.5 apresenta a ruptura de um corpo-de-prova (CP) submetido ao ensaio de resistência de aderência à tração, onde pode ser observado que mesmo após o rompimento, as fibras de polipropileno ainda estão agindo de forma a reduzir a deformação de ruptura do CP.

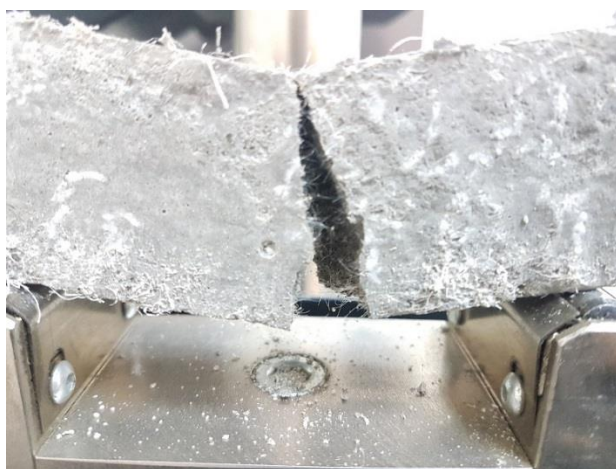


Figura 4.5 – Corpo-de-prova com adição de fibras de polipropileno rompido no ensaio de resistência de tração à flexão.



#### 4.2.2 Determinação da resistência à compressão

Neste estudo foram moldados 6 corpos-de-prova para cada um dos 5 traços utilizados. Os corpos de prova foram divididos em dois grupos, sendo que 3 corpos-de-prova de cada traço foram rompidos aos 14 dias e os demais aos 28 dias para um melhor entendimento das alterações causadas pela adição de fibras. As médias dos módulos de ruptura para idades de 14 e 28 dias podem ser observados nas Tabelas 4.5 e 4.6 respectivamente e nos anexos III e IV, encontram-se os resultados individuais de resistência à compressão dos traços.

Tabela 4.5 – Média de resistência à compressão com idade de 14 dias.

MÉDIA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM IDADE DE 14 DIAS		
Traços ensaiados	Média dos módulos de ruptura (MPa)	Desvio Relativo Máximo (MPa)
Traço referência	24,04	0,05
Traço vidro 1,0%	21,69	0,06
Traço vidro 2,0%	18,96	0,01
Traço poli. 1,0%	20,73	0,06
Traço poli. 1,5%	16,45	0,07

Tabela 4.6 – Média de resistência à compressão com idade de 28 dias.

MÉDIA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO COM IDADE DE 28 DIAS		
Traços ensaiados	Média dos módulos de ruptura (MPa)	Desvio Relativo Máximo (MPa)
Traço referência	26,94	0,11
Traço vidro 1,0%	27,44	0,06
Traço vidro 2,0%	23,86	0,02
Traço poli. 1,0%	25,94	0,09
Traço poli. 1,5%	22,70	0,04

Os resultados dos desvios relativo máximo (DRM) destacados nas tabelas 4.5 e 4.6, não tiveram de ser recalculados já que o limite de 0,5 MPa, imposto pela NBR 13279 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005) não foi ultrapassado em nenhuma média dos traços.

A Figura 4.6 representa o gráfico de médias de resistência à compressão em relação ao tempo, dos traços de argamassa.

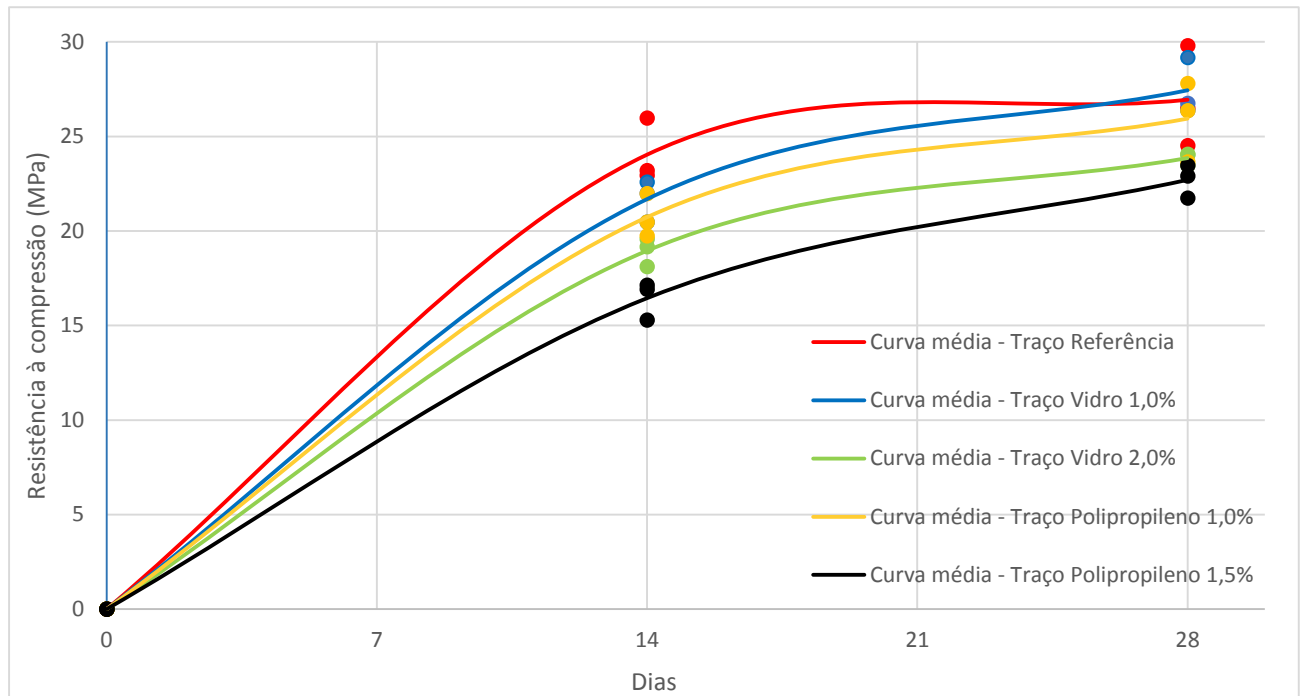


Figura 4.6 – Gráfico de médias de resistência à compressão das argamassas.

Observando-se o gráfico apresentado na Figura 4.6, pode-se evidenciar que os traços que sofreram adições de fibras apresentam desempenhos inferiores em relação ao traço de referência, sendo esses resultados mais expressivos nos traços de fibra de vidro 2,0% e no traço de fibra de polipropileno a 1,5%, sendo esses os traços que tiveram a maior quantidade de incorporação de fibras.

Esta redução na resistência à compressão já foi verificada na literatura estudada já que em alguns casos foi verificado que as fibras reduzem esta propriedade sendo a razão para essa redução, a ocorrência de um aumento na quantidade de ar incorporado durante o processo de produção da argamassa, o que confere à argamassa maior porosidade, diminuindo o seu desempenho mecânico.

A porosidade dos sólidos afeta a sua resistência mecânica porque ali, nos vazios, há uma elevada concentração de tensões quando o corpo está sob carga. Esta concentração de tensões, em um volume que não oferece resistência alguma, favorece o aparecimento de rupturas microscópicas que podem se transformar em fissuras prejudiciais ao desempenho do sólido. Por isso, a porosidade é um fator limitante da resistência das argamassas. (SILVA, 2006, p. 54)

Um fato que comprova o aumento da incorporação de ar pelas argamassas com adição de fibras está nos resultados do ensaio de absorção de água por imersão que serão apresentados mais a frente.

Entretanto, apesar da maior incorporação de ar, os traços que possuem 1,0% de fibras (vidro e polipropileno) obtiveram resultados, de resistência à compressão, semelhantes ou no caso do traço com adição de 1,0% vidro que até ultrapassou a média atingida pelo traço de referência quando comparados em idades de 28 dias, levando a acreditar a adição das fibras, a baixas proporções, pode levar a um aumento da resistência à compressão já que mesmo possuindo um índice de vazios superior ao da argamassa de referência, esses traços com adição de 1,0% de fibra apresentaram resultados satisfatórios.

#### **4.2.3 Determinação da resistência de aderência à tração**

Os ensaios de resistência de aderência à tração foram realizados com base na NBR 13528 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010). A Tabela 4.7 contém a tensão de ruptura dos 6 corpos-de-prova para cada um dos 5 traços que foram produzidos, assim como os respectivos percentuais de formas de ruptura. Os Anexos V à IX apresentam os mesmos valores assim como as médias de ruptura para cada traço e as figuras das rupturas dos 30 corpos-de-prova.

Tabela 4.7 – Determinação de resistência de aderência à tração e formas de ruptura.

DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO E FORMAS DE RUPTURA										
Traços	N° CP	Diâmetro médio (mm)	Área A (mm²)	Carga ruptura F (N)	Tensão ruptura Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)				
						A	B	C	D	E
Traço ref.	1	43,91	1514	1244	0,82		100			
	2	43,37	1477	>1003	>0,68				100	
	3	43,41	1480	>1590	>1,07			50	50	
	4	43,21	1366	>854	>0,58				100	
	5	43,45	1483	>767	>0,52				100	
	6	43,64	1496	912	0,61		100			
Traço vidro 1,0%	7	43,43	1481	>513	>0,35				100	
	8	43,22	1467	>731	>0,50				100	
	9	43,12	1460	>499	>0,34				100	
	10	43,44	1482	>458	>0,31				100	
	11	44,03	1523	582	0,38		100			
	12	43,55	1490	492	0,33		100			
Traço vidro 2,0%	13	43,17	1464	>926	>0,63				100	
	14	43,53	1488	>833	>0,56				100	
	15	43,47	1484	>557	>0,38			100		
	16	43,03	1454	>652	>0,45				100	
	17	43,48	1485	>1698	>1,14			15	85	
	18	43,16	1463	>550	>0,38				100	
Traço poli. 1,0%	19	43,26	1470	>607	>0,41				100	
	20	43,43	1481	>603	>0,41				100	
	21	43,32	1474	>226	>0,15				100	
	22	43,34	1475	>318	>0,22				100	
	23	43,58	1492	>242	>0,16				100	
	24	43,41	1480	>227	>0,15				100	
Traço poli. 1,5%	25	42,92	1449	>843	>0,58				100	
	26	43,09	1458	>672	>0,46				100	
	27	43,37	1477	>588	>0,40				100	
	28	43,48	1485	>349	>0,24				100	
	29	44,04	1523	>1012	>0,66			100		
	30	43,54	1489	>556	>0,37				100	

Segundo a NBR 13528 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2010), a forma de ruptura do tipo B é o único caso em que o valor do resultado expressa a resistência de aderência à tração real dos corpos-de-prova, já que a ruptura ocorre na interface substrato/argamassa.

Já nas formas de ruptura do tipo D, ruptura mais predominante neste ensaio, o valor obtido ao final do ensaio fornece a resistência de aderência entre a argamassa e a cola, onde esta interface rompeu antes que fosse possível determinar a resistência real (ruptura tipo B). Quando ocorre este tipo de ruptura, torna-se impossível determinar a resistência real dos corpos-de-prova, podendo apenas concluir que a resistência de aderência à tração real é superior à registrada nas rupturas do tipo D.

Tendo-se obtido em sua maioria resultados do tipo D, o estudo ficou impossibilitado de fazer uma comparação entre os resultados dos traços estudados já que foram poucos os valores reais obtidos. Acredita-se que a grande quantidade de rupturas do tipo D se deve ao fato de que a superfície de aplicação da cola pode ter sido prejudicada pelas fibras que se encontravam na parte superior do revestimento, reduzindo assim a aderência entre a argamassa de revestimento e a cola.

Mesmo obtendo poucos resultados reais de resistência de aderência à tração (ruptura tipo B), segundo a NBR 13749 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013), todos os traços de argamassa atingiram valores superiores ao mínimo de 0,3 MPa exigido por essa norma (Tabela 4.8), com exceção do traço de fibra de polipropileno a 1,0% em que o rompimento da interface argamassa/cola ocorreu antes de atingir o valor mínimo, não sendo possível concluir se esses corpos-de-prova atingiriam o valor mínimo como os demais ensaios.

Tabela 4.8 – Limites de resistência de aderência à tração (Ra). (NBR 13749, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2013)

LIMITES DE RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO (RA)			
Local		Acabamento	Ra
Parede	Interna	Pintura ou base para reboco	≥ 0,20
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
	Externa	Pintura ou base para reboco	≥ 0,30
		Cerâmica ou laminado	≥ 0,30
Teto			≥ 0,20

#### 4.2.4 Determinação de absorção de água por imersão

Obtendo a massa seca dos corpos-de-prova em estufa e a massa saturada, onde os CPs ficaram submersos por 24 horas, calcula-se o índice de absorção de água e os resultados destes ensaios foram transcritos para a Tabela 4.9.

Tabela 4.9 – Determinação de absorção de água por imersão.

Traços ensaiados	Nº do CP	Massa CP seco (g)	Massa CP saturado (g)	Absorção de água por imersão (%)
Traço referência	1	283,3	299,6	5,75
	2	265,6	280,5	5,61
	3	307,9	324,3	5,33
Traço vidro 1,0%	4	255,1	272,7	6,90
	5	267,9	285,0	6,38
	6	295,0	312,2	5,83
Traço vidro 2,0%	7	292,6	312,8	6,90
	8	262,8	281,2	7,00
	9	262,5	277,8	5,83
Traço poli. 1,0%	10	317,7	337,9	6,36
	11	298,5	317,9	6,50
	12	257,2	270,5	5,17
Traço poli. 1,5%	13	291,4	311,2	6,79
	14	299,5	318,5	6,34
	15	278,5	293,5	5,39

Após a determinação dos índices de absorção para cada corpo-de-prova, é realizado uma média para os traços ensaiados e seus resultados se encontram na Tabela 4.10. A Figura 4.7 representa um gráfico de comparação da absorção de água pelo teor de fibras incorporados para os traços em que houve incorporações de fibras.

Tabela 4.10 – Determinação da média de absorção da água por imersão.

DETERMINAÇÃO DA MÉDIA DE ABSORÇÃO DA ÁGUA POR IMERSÃO	
Traços ensaiados	Média (%)
Traço referência	5,56
Traço vidro 1,0%	6,37
Traço vidro 2,0%	6,58
Traço poli. 1,0%	6,01
Traço poli. 1,5%	6,17

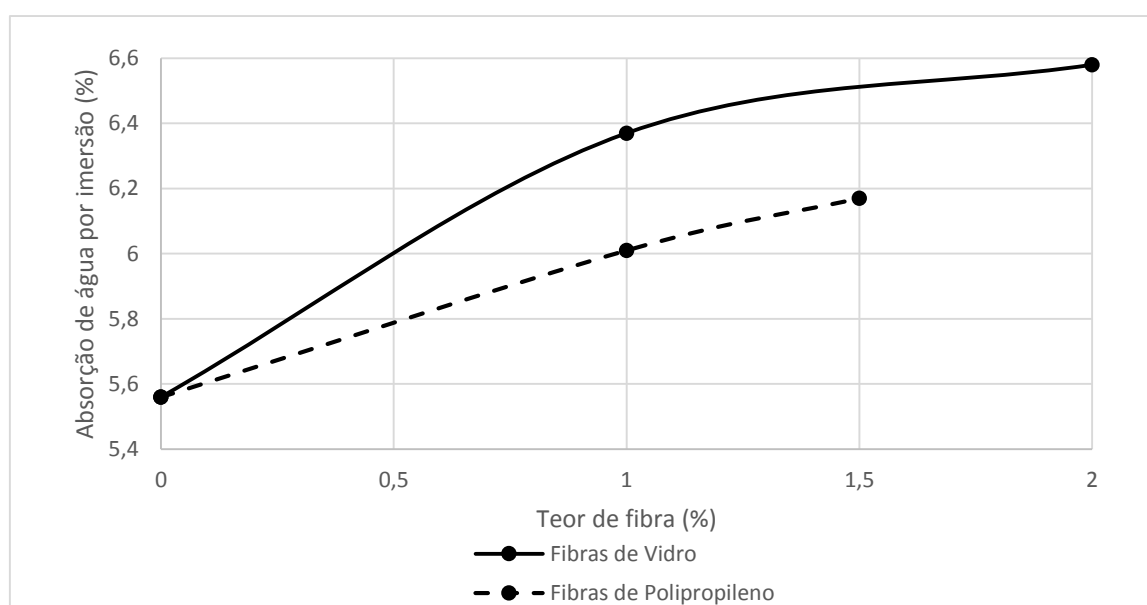


Figura 4.7 – Gráfico de comparação da absorção de água por imersão dos traços.

Comparando-se os gráficos, sendo o ponto inicial das duas curvas, a média obtida pelo traço de referência, nota-se que houve uma tendência ao acréscimo do índice de absorção de água conforme o teor de fibras incorporadas era aumentado.

Este aumento na absorção de água era esperado já que a incorporação de fibras no processo de mistura das argamassas provoca um aumento da incorporação de ar pelos compósitos, gerando assim um índice de vazios mais elevado quando comparado com uma argamassa sem adições.

Analisando o gráfico da Figura 4.7, é possível presumir que as fibras de vidro utilizadas nessa pesquisa apresentaram uma capacidade de incorporação de ar superior às fibras de polipropileno. Este fato pode ser comprovado ao comparar os traços em que houve a adição de 1,0% de cada tipo de fibra, onde o traço

com fibras de vidro apresentou um índice de absorção de água por imersão médio aproximadamente 6,0% superior ao de fibras de polipropileno.



## CAPÍTULO 5

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

#### 5.1 CONCLUSÕES

Analizando os resultados de absorção de água por imersão, pode-se afirmar que existe uma relação entre a massa de água absorvida e a proporção de fibras incorporadas na argamassa. Conforme os resultados dos ensaios de índice de consistência fica claro que o aumento da absorção de água é resultado das fibras necessitarem de mais água para obter uma boa trabalhabilidade, sendo assim, parte dessa água ao evaporar deixa vazios no interior da mistura. Esse aumento no índice de vazios explica a perda na resistência mecânica das argamassas em alguns ensaios de compressão e tração à flexão realizados.

No ensaio de aderência, as rupturas dos corpos de prova foram, em sua maioria, do tipo D, que determina a resistência de aderência à tração da cola, e não da argamassa. Neste caso, o ensaio se torna inconclusivo, pois não há formas de fazer a comparação dos resultados entre os 5 traços de argamassa. Este fato pode ser causado pela redução de aderência causada pelas fibras que se encontravam na superfície do revestimento de argamassa. Entretanto, segundo Tiscoski (2016), o rompimento na interface substrato/argamassa (ruptura tipo B, que determinaria a resistência de aderência à tração da argamassa) representa o pior caso de ruptura, já que este tipo indica a falta de homogeneidade ou adesão no sistema. Uma vez que poucos corpos-de-prova romperam dessa forma e que a maioria dos resultados obtiveram valores de resistência superiores ao mínimo requisitado por norma, conclui-se que, individualmente, os traços obtiveram resultados satisfatórios.

Em relação a capacidade de resistência à compressão, pôde-se observar, que os traços que possuíam a maior concentração de fibras apresentaram uma resistência inferior em relação ao traço de referência, sendo este fato explicado pela maior incorporação de ar causada pelas fibras. Entretanto, os traços que possuem 1,0% de fibras (vidro e polipropileno) obtiveram resultados semelhantes ao traço de referência quando comparados em idades de 28 dias, levantando a hipótese de que em menores proporções de fibras ou utilizando técnicas que diminuam a quantidade de ar incorporado, as fibras de vidro e polipropileno podem levar a um aumento de resistência mecânica das argamassas.

Ao concluir os ensaios de resistência à tração na flexão para 28 dias, fica claro que todas as argamassas com incorporação de fibras obtiveram resultados inferiores a argamassa de referência, demonstrando que a adição de fibras resulta em uma perda de desempenho. Contudo, quando comparados os traços de vidro 1,0% e o traço vidro 2,0%, nota-se que houve um pequeno acréscimo na resistência de tração à flexão. Este fato fica mais evidente quando são analisados os traços em que houve a adição de fibras de polipropileno, podendo-se observar que o aumento de 0,5% dessa fibra entre os traços resultou em valores relativamente maiores, levando a crer que essas fibras possuem características que melhoram a resistência à tração na flexão, sendo interessante um estudo mais aprofundado deste assunto.

## **5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS**

Recomendações para trabalhos futuros:

- a) Realizar um estudo com foco no ensaio de resistência de aderência à tração sendo utilizado um equipamento mecânico para lixar a superfície do revestimento garantindo assim uma boa aderência na interface argamassa/cola visando obter rupturas do tipo B para poder realizar uma comparação entre traços ensaiados;
- b) Estudar as argamassas com menores adições de fibras ou utilizando técnicas que diminuam a quantidade de ar incorporado, quanto a resistência à compressão;
- c) Analisar a influência das fibras de vidro e polipropileno, em maiores teores do que os utilizados neste trabalho, com foco na resistência à tração na flexão de argamassas e concretos;
- d) Estudar as modificações que as fibra de vidro e polipropileno podem causar em ensaios de isolamento térmico e acústico e ensaio de controle de retração de fissuras em argamassas de revestimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS - **Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente; NBR NM 52/02.** Rio de Janeiro, set. 2002.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Agregados - Determinação da composição granulométrica; NBR NM 248/03.** Rio de Janeiro, jul. 2003.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Cimento Portland de alto-forno; NBR 5735/91.** Rio de Janeiro, jul. 1991.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão; NBR 7215/96.** Rio de Janeiro, dez. 1996.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Câmaras úmidas e tanques para cura de corpos-de-prova de argamassa e concreto; NBR 9479/94.** 2. ed. Rio de Janeiro, jun. 1994.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica; NBR 9778/87.** Rio de Janeiro, mar. 1987.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Preparo da mistura e determinação do índice de consistência; NBR 13276/02.** Rio de Janeiro, ago. 2002.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Argamassa para assentamento de paredes e revestimento de paredes e tetos - Determinação da retenção de água; NBR 13277/95.** Rio de Janeiro, fev. 1995.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado; NBR 13278/05.** Rio de Janeiro, set. 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão; NBR 13279/05.** 2. ed. Rio de Janeiro, set. 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos —Requisitos; NBR 13281/05.** 2. ed. Rio de Janeiro, set. 2005.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Revestimento de paredes de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração; NBR 13528/10.** 2. ed. Rio de Janeiro, fev. 2010.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **Revestimento de paredes e tetos de argamassa inorgânicas – Especificação; NBR 13749/13.** Rio de Janeiro, set. 2013.
- BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de; SABBATINI, Fernando Henrique - **Produção de revestimentos cerâmicos para paredes de vedação em alvenaria: Diretrizes básicas.** São Paulo: Escola Politécnica da Usp, Pcc, 1990.

BAUER, Elton; CORTEZ, Ieda. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 4., 2001, Brasília - **Compósitos à base de fibras sintéticas em argamassas para revestimento na prevenção da fissuração**. Brasília: Antac, 2001. 89 p.

BORGES, Leonardo Araujo - **Revestimento em argamassa: solução econômica para uma obra mais sustentável**. Belo Horizonte – MG – Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais, Fev. 2012. Monografia de Especialização em Construção Civil.

CARASEK, Helena - **Argamassas**. In: **Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais**. 3ª ed. Revisada e Atualizada. São Paulo: Ibracon, 2017, v.II, p. 970-1005. ISBN 978-85-98576-27-5

BS – British Standart - **Methods of testing cement - Part 1: Determination of strength; EN:196-1/16**. mai. 2016.

FERREIRA, Beatriz Bernardes Dias Ferreira - **Tipificação de patologias em revestimentos argamassados**. Belo Horizonte – MG – Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais, Fev. 2010. Mestrado de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

FIGUEIREDO JUNIOR, Geraldo Josafá de - **Patologias em revestimentos de fachadas – diagnóstico, prevenção e causas**. Belo Horizonte – MG – Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais, 2017. Monografia de Especialização em Construção Civil.

FIORITO, Antonio J. S. I - **Manual de argamassas e revestimentos: estudos e procedimentos de execução**. 2ª ed. São Paulo: Pini, 1994. ISBN 8572661891.

FONTAN JÚNIOR, Osni - **Aplicação de tramas de fibras de pupunheira (bactris gasipaes, H.b.k.) em compósitos híbridos com fibra de vidro em matriz de resina poliéster insaturado**. Joinville – SC – Brasil: Universidade da Região de Joinville, 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Processos.

MACHADO, Vivian Karla Castelo Branco Louback. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo - **Análise de métodos de retenção de água e consistência em argamassas**. São Paulo: Antac, 2003. 233 p.

MARTINS, Daniela Vasconcelos Alamy; SOARES, Letícia Mosconi - **Avaliação do desempenho de revestimentos de argamassa com fibras de papel kraft provenientes de embalagens de cal**. Goiânia – GO – Brasil: Universidade Federal de Goiás, 2016. Monografia de Graduação em Engenharia Civil.

MEDEIROS, Jonas Silvestre; SABBATINI, Fernando Henrique - **Tecnologia e projeto de revestimentos cerâmicos de fachadas de edifícios**. Boletim Técnico: BT/PCC/246. São Paulo: Escola Politécnica da Usp, Pcc, 1990. 28p.

MOTA, João Manoel de Freitas - **Influência da argamassa de revestimento na resistência à compressão axial em prismas de alvenaria resistente de blocos cerâmicos**. Recife – Pernambuco – Brasil: Universidade Federal de Pernambuco, Jun. 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

MULLER, A. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória - **Propriedades físicas e mecânicas de argamassas de assentamento com adições minerais e orgânicas**. Vitória: PPGECC, 1999. v. 1, 309 p.

OLIVEIRA, Luiz A. P.; ALVES, Paula C. P.; DIAS, Sérgio M. M - **Desempenho de Argamassas de Revestimentos com Incorporação de Fibras de Plásticos Reciclados**. Covilhão - Portugal: Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura – Universidade da Beira Interior, 2005.

OLIVEIRA, Maria Luiza Lopes de - **Influência da adição de fibras de polipropileno em argamassas**. Florianópolis – SC – Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

PELISSER, Fernando - **Avaliação do Desempenho de Concreto Reforçado com Fibras de Polietileno Tereftalato (PET)**. Florianópolis – SC – Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

PEREZ, A.R - **Umidade nas edificações: recomendações para prevenção da penetração de água pelas fachadas**. In: **Tecnologia de edificações**. São Paulo: Pini, 1988. p. 571-578.

PERUZZI, Antônio de Paulo - **Comportamento das fibras de vidro convencionais em matriz de cimento Portland modificada com látex e adição de sílica ativa**. São Carlos – SP – Brasil: Universidade de São Paulo, 2002. Dissertação de Mestrado em Arquitetura.

PINTO, Kelly Nanci Carneiro - **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro**. São Paulo – SP – Brasil: Universidade de São Paulo, 2002. Dissertação de Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear-Materiais.

PRADO, César et al. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 57., 2015, Bonito - **Estudo das propriedades mecânicas da argamassa de revestimento com adição de fibras de papelão**. Bonito: Ibracon, 2015.

SABBATINI, Fernando Henrique - **O processo construtivo de edifícios de alvenaria estrutural silício calcário**. São Paulo – SP – Brasil: Universidade de São Paulo, 1984. Dissertação de Mestrado em Engenharia.

SEGAT, Gustavo Tramontina - **Manifestações patológicas observadas em revestimentos de argamassa: Estudo de caso em conjunto habitacional popular na cidade de caxias do sul (RS)**. Porto Alegre – RS – Brasil: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Jul. 2005. Dissertação de Mestrado em Engenharia.

SILVA, Rosiany da Paixão da - **Argamassas com adição de fibras de polipropileno – estudo comportamento reológico e mecânico**. São Paulo – SP – Brasil: Universidade de São Paulo, 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

SILVA, Antônio Sérgio R. da. et al. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 5., 2003, São Paulo - **Avaliação do desempenho de argamassa de revestimento com uso de fibra de polipropileno na cidade de Salvador/BA**. São Paulo: Antac, 2003. 469 p.

SIQUEIRA, José Eduardo Lobato de - **Utilização de fibras naturais e sintéticas em argamassas de revestimento de alvenaria: estudo comparativo de desempenho**. Florianópolis – SC – Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, Ago. 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.

Associação Brasileira de Cimento Portland - **Manual de Revestimentos de Argamassa**. 2002. [12 Abr. 2018]. Disponível em

WWW:<<http://www.comunidade-da-construcao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf> >

TEIXEIRA, Ronaldo Soares - **Efeito das fibras de curauá e de polipropileno no desempenho de compósitos cimentícios produzidos por extrusão**. São Carlos – SP – Brasil: Universidade de São Paulo, 2015. Doutorado de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.

TISCOSKI, Bruna - **Análise do efeito da adição de fibras de polipropileno na resistência de aderência à tração em argamassa de revestimento**. Criciúma – SC – Brasil: Universidade do Extremo Sul Catarinense, Jun. 2016. Artigo de Graduação em Engenharia Civil.

VIEIRA, Cristiane Aurelia Borges - **Avaliação de métodos de fabricação de mantas híbridas de fibras curtas de vidro e sisal em compósitos poliméricos**. Caxias do Sul – RS – Brasil: Universidade de Caxias do Sul, 2008. Dissertação de Mestrado em Materiais.

YAZIGI, Walid - **A Técnica de edificar**. 10ª Ed. São Paulo: Editora Pini, 2009. ISBN 8572662898



## ANEXO I - Determinação da resistência à tração na flexão com idade de 14 dias

A Tabela I.1 contém as dimensões, cargas de ruptura e módulo de ruptura dos 15 corpos-de-prova ensaiados aos 14 dias.

Tabela I.1 – Determinação da resistência à tração na flexão com idade de 14 dias.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO							
Traços ensaiados	N° do CP	Dimensões (cm)		Vão livre (cm)	Carga de ruptura (kgf)	Módulo de ruptura	
		Largura	Altura			Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Traço referência	1	4,02	4,00	12	153	42,69	4,19
	2	4,01	4,07	12	151	40,86	4,01
	3	4,01	4,04	12	152	41,78	4,10
Traço vidro 1,0%	7	4,03	4,05	12	138	37,65	3,69
	8	4,02	4,06	12	133	36,05	3,54
	9	4,00	4,04	12	135	37,31	3,66
Traço vidro 2,0%	13	4,04	4,08	12	131	35,18	3,45
	14	4,02	4,07	12	137	37,15	3,64
	15	4,03	4,05	12	150	40,76	4,00
Traço poli. 1,0%	19	4,02	4,06	12	138	37,44	3,67
	20	4,01	4,07	12	131	35,40	3,47
	21	4,03	4,08	12	142	38,18	3,74
Traço poli. 1,5%	25	4,02	4,05	12	141	38,40	3,77
	26	4,01	4,07	12	150	40,60	3,98
	27	4,03	4,08	12	142	38,10	3,74





## ANEXO II - Determinação da resistência à tração na flexão com idade de 28 dias

A Tabela II.1 contém as dimensões, cargas de ruptura e módulo de ruptura dos 15 corpos-de-prova ensaiados aos 28 dias.

Tabela II.1 – Determinação da resistência à tração na flexão com idade de 28 dias.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO NA FLEXÃO							
Traços ensaiados	Nº do CP	Dimensões (cm)		Vão livre (cm)	Carga de ruptura (kgf)	Módulo de ruptura	
		Largura	Altura			Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Traço referência	4	4,04	4,01	12,0	220	60,96	5,98
	5	4,02	4,11	12,0	230	60,97	5,98
	6	4,03	4,02	12,0	210	58,04	5,69
Traço vidro 1,0%	10	4,03	4,00	12,0	190	53,04	5,20
	11	4,01	4,07	12,0	190	51,49	5,05
	12	4,02	4,04	12,0	200	54,87	5,38
Traço vidro 2,0%	16	4,02	4,19	12,0	200	51,01	5,00
	17	4,03	4,16	12,0	200	51,62	5,06
	18	4,01	4,15	12,0	220	57,34	5,63
Traço poli. 1,0%	22	4,02	4,23	12,0	220	55,05	5,40
	23	4,04	4,20	12,0	200	50,52	4,96
	24	4,06	4,19	12,0	210	53,03	5,20
Traço poli. 1,5%	28	4,08	4,30	12,0	230	54,88	5,38
	29	4,05	4,26	12,0	240	58,78	5,77
	30	4,03	4,21	12,0	210	52,92	5,19



## ANEXO III - Determinação da resistência à compressão com idade de 14 dias

A Tabela III.1 contém os diâmetros, áreas, cargas de ruptura e resistência à compressão dos 15 corpos-de-prova ensaiados aos 14 dias.

Tabela III.1 – Determinação da resistência à compressão com idade de 14 dias.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO							
Traços	Nº do CP	Dimensões (cm)		Área prisma (cm <sup>2</sup> )	Carga de ruptura (kgf)	Resistência à compressão	
		Largura	Altura			Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Traço referência	1	4,02	4,00	16,08	4257	264,77	25,96
	2	4,01	4,05	16,24	3801	234,02	22,95
	3	4,03	4,01	16,16	3823	236,54	23,20
Traço vidro 1,0%	7	4,00	4,02	16,08	3608	224,36	22,00
	8	4,04	4,06	16,40	3424	208,76	20,47
	9	4,03	4,01	16,16	3722	230,34	22,59
Traço vidro 2,0%	13	4,04	4,09	16,52	3052	184,72	18,12
	14	4,02	4,12	16,56	3238	195,49	19,17
	15	4,03	4,11	16,56	3308	199,70	19,58
Traço poli. 1,0%	19	4,04	4,08	16,48	3693	224,03	21,97
	20	4,04	4,07	16,44	3433	208,76	20,47
	21	4,02	4,06	16,32	3286	201,31	19,74
Traço poli. 1,5%	25	4,06	4,09	16,61	2902	174,74	17,14
	26	4,03	4,03	16,24	2534	156,01	15,30
	27	4,05	4,06	16,44	2835	172,43	16,91



## ANEXO IV - Determinação da resistência à compressão com idade de 28 dias

A Tabela IV.1 contém os diâmetros, áreas, cargas de ruptura e resistência à compressão dos 15 corpos-de-prova ensaiados aos 28 dias.

Tabela IV.1 – Determinação da resistência à compressão com idade de 28 dias.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO							
Traços ensaiados	N° do CP	Dimensões (cm)		Área (cm²)	Carga de ruptura (kgf)	Resistência à compressão	
		Largura	Largura			Kgf/cm²	MPa
Traço referência	4	4,04	4,02	16,24	4938	304,05	29,82
	5	4,00	4,03	16,12	4357	270,27	26,50
	6	4,05	4,03	16,32	4080	250,00	24,52
Traço vidro 1,0%	10	4,02	4,01	16,12	4399	272,87	26,76
	11	4,02	4,07	16,36	4404	269,15	26,39
	12	4,05	4,03	16,32	4858	297,62	29,19
Traço vidro 2,0%	16	4,02	4,06	16,32	4000	245,07	24,03
	17	4,03	4,07	16,40	3927	239,43	23,48
	18	4,01	4,06	16,28	3995	245,40	24,07
Traço poli. 1,0%	22	4,02	4,04	16,24	4604	283,51	27,80
	23	4,01	4,04	16,20	4356	268,90	26,37
	24	4,03	4,06	16,36	3948	241,27	23,66
Traço poli. 1,5%	28	4,00	4,05	16,20	3877	239,35	23,47
	29	4,03	4,06	16,36	3822	233,57	22,91
	30	4,02	4,05	16,28	3609	221,65	21,74



## ANEXO V - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO TRAÇO DE REFERÊNCIA

A Tabela V.1 contém os diâmetros, áreas, cargas de ruptura, as tensões de ruptura e os percentuais de formas de ruptura dos 6 corpos-de-prova ensaiados referente ao traço de referência. As Figuras V.1 à V.6, apresentam as rupturas de cada um dos corpos-de-prova do mesmo traço.

Tabela V.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço referência.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO, TRAÇO REFERÊNCIA									
Corpo de prova			Carga de ruptura F (N)	Tensão de ruptura Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)				
N° do CP	Diâmetro médio (mm)	Área A (mm²)			A	B	C	D	E
1	43,91	1514	1244	0,82		100			
2	43,37	1477	>1003	>0,68				100	
3	43,41	1480	>1590	>1,07			50	50	
4	43,21	1366	>854	>0,58				100	
5	43,45	1483	>767	>0,52				100	
6	43,64	1496	912	0,61		100			
Média das rupturas (%)					0	33,3	8,4	58,3	0



Figura V.1 – Forma de ruptura CP1.



Figura V.2 – Forma de ruptura CP2.



Figura V.3 – Forma de ruptura CP3.



Figura V.4 – Forma de ruptura CP4.



Figura V.5 – Forma de ruptura CP5.



Figura V.6 – Forma de ruptura CP6.



## ANEXO VI - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO TRAÇO DE VIDRO 1,0%

A Tabela VI.1 contém os diâmetros, áreas, cargas de ruptura, as tensões de ruptura e os percentuais de formas de ruptura dos 6 corpos-de-prova ensaiados referente ao traço produzido com adição de 1,0% de fibras de vidro. As figuras VI.1 à VI.6, apresentam as rupturas de cada um dos corpos-de-prova do mesmo traço.

Tabela VI.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço vidro 1,0%.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO, TRAÇO VIDRO 1,0%									
Corpo de prova			Carga de ruptura F (N)	Tensão de ruptura Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)				
N° do CP	Diâmetro médio (mm)	Área A (mm²)			A	B	C	D	E
7	43,43	1481	>513	>0,35				100	
8	43,22	1467	>731	>0,50				100	
9	43,12	1460	>499	>0,34				100	
10	43,44	1482	>458	>0,31				100	
11	44,03	1523	582	0,38		100			
12	43,55	1490	492	0,33		100			
Média das rupturas (%)					0	33,3	0	66,7	0



Figura VI.1 – Forma de ruptura CP7.



Figura VI.2 – Forma de ruptura CP8.



Figura VI.3 – Forma de ruptura CP9.



Figura VI.4 – Forma de ruptura CP10.



Figura VI.5 – Forma de ruptura CP11.



Figura VI.6 – Forma de ruptura CP12.

## ANEXO VII - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO TRAÇO DE VIDRO 2,0%

A Tabela VII.1 contém os diâmetros, áreas, cargas de ruptura, as tensões de ruptura e os percentuais de formas de ruptura dos 6 corpos-de-prova ensaiados referente ao traço produzido com adição de 2,0% de fibras de vidro. As figuras VII.1 à VII.6, apresentam as rupturas de cada um dos corpos-de-prova do mesmo traço.

Tabela VII.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço vidro 2,0%.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO, TRAÇO VIDRO 2,0%									
Corpo de prova			Carga de ruptura F (N)	Tensão de ruptura Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)				
N° do CP	Diâmetro médio (mm)	Área A (mm²)			A	B	C	D	E
13	43,17	1464	>926	>0,63				100	
14	43,53	1488	>833	>0,56				100	
15	43,47	1484	>557	>0,38			100		
16	43,03	1454	>652	>0,45				100	
17	43,48	1485	>1698	>1,14			15	85	
18	43,16	1463	>550	>0,38				100	
Média das rupturas (%)					0	0	19,2	80,8	0





Figura VII.1 – Forma de ruptura CP13.



Figura VII.2 – Forma de ruptura CP14.



Figura VII.3 – Forma de ruptura CP15.



Figura VII.4 – Forma de ruptura CP16.



Figura VII.5 – Forma de ruptura CP17.



Figura VII.6 – Forma de ruptura CP18.

## ANEXO VIII - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO TRAÇO DE POLIPROPILENO 1,0%

A Tabela VIII.1 contém os diâmetros, áreas, cargas de ruptura, as tensões de ruptura e os percentuais de formas de ruptura dos 6 corpos-de-prova ensaiados referente ao traço produzido com adição de 1,0% de fibras de polipropileno, já as figuras VIII.1 à VIII.6, apresentam as rupturas de cada um dos corpos-de-prova do mesmo traço.

Tabela VIII.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço polipropileno 1,0%.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO, TRAÇO POLIPROPILENO 1,0%									
Corpo de prova			Carga de ruptura F (N)	Tensão de ruptura Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)				
N° do CP	Diâmetro médio (mm)	Área A (mm²)			A	B	C	D	E
19	43,26	1470	>607	>0,41				100	
20	43,43	1481	>603	>0,41				100	
21	43,32	1474	>226	>0,15				100	
22	43,34	1475	>318	>0,22				100	
23	43,58	1492	>242	>0,16				100	
24	43,41	1480	>227	>0,15				100	
Média das rupturas (%)					0	0	0	100	0





Figura VIII.1 – Forma de ruptura CP19.



Figura VIII.2 – Forma de ruptura CP20.



Figura VIII.3 – Forma de ruptura CP21.



Figura VIII.4 – Forma de ruptura CP22.



Figura VIII.5 – Forma de ruptura CP23.



Figura VIII.6 – Forma de ruptura CP24.

## ANEXO IX - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO DO TRAÇO DE POLIPROPILENO 1,5%

A Tabela IX.1 contém os diâmetros, áreas, cargas de ruptura, as tensões de ruptura e os percentuais de formas de ruptura dos 6 corpos-de-prova ensaiados referente ao traço produzido com adição de 1,5% de fibras de polipropileno, já as figuras IX.1 à IX.6, apresentam as rupturas de cada um dos corpos-de-prova do mesmo traço.

Tabela IX.1 – Determinação da resistência de aderência à tração, traço polipropileno 1,5%.

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA DE ADERÊNCIA À TRAÇÃO, TRAÇO POLIPROPILENO 1,5%									
Corpo de prova			Carga de ruptura F (N)	Tensão de ruptura Ra (MPa)	Forma de ruptura (%)				
N° do CP	Diâmetro médio (mm)	Área A (mm <sup>2</sup> )			A	B	C	D	E
25	42,92	1447	>843	>0,58				100	
26	43,09	1458	>672	>0,46				100	
27	43,37	1477	>588	>0,40				100	
28	43,48	1485	>349	>0,24				100	
29	44,04	1523	>1012	>0,66			100		
30	43,54	1489	>556	>0,37				100	
Média das rupturas (%)					0	0	16,7	83,3	0





Figura IX.1 – Forma de ruptura CP25.



Figura IX.2 – Forma de ruptura CP26.



Figura IX.3 – Forma de ruptura CP27.



Figura IX.4 – Forma de ruptura CP28.



Figura IX.5 – Forma de ruptura CP29.



Figura IX.6 – Forma de ruptura CP30.